



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

NICK KIVIRANTA

TEHTAAN SYSTEMAATTINEN LAYOUT SUUNNITTELU JA VIR-  
TAUSTEHOKKUUDEN KEHITTÄMINEN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Kari T. Koski-  
nen Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-  
voston kokouksessa 3. tammikuuta  
2018

## TIIVISTELMÄ

**NICK KIVIRANTA:** Tehtaan systemaattinen layout suunnittelu ja virtaustehokkuuden kehittäminen

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 63 sivua, 3 liitesivua

Marraskuu 2018

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Tuotantotekniikka ja -automaatio

Tarkastaja: professori Kari T. Koskinen

Avainsanat: layout, materiaalivirta, eräkoko, hukka, SLP

Tämän diplomityön tarkoituksena on suunnitella teollisuuslaitokselle uusi layout, joka huomioi tulevan työstökonehankinnan ja siitä johtuvat muutokset. Toimeksiantajan toimiala on metalliteollisuuden alihankinta. Diplomityön toimeksiantajalla on suurta kehittymishalukkuutta ja tarvetta tehdä investointeja.

Diplomityössä esitellään ensin työn tekemisen kannalta olennaisia teorioita layoutin suunnittelusta ja virtaustehokkuudesta. Virtaustehokkuutta tarkastellaan hukan, 5S ja työtapojen standardoinnin kautta. Myös vertailua resurssitehokkuuteen käydään läpi laajasti.

Toinen keskeinen teema liittyy tehtaan layoutin suunnitteluun. Diplomityön lopputuloksena oli suunnitella tuottava, tehokas ja turvallinen layout kohdeyritykselle. Näin ollen on myös perusteltua käydä ensin kirjallisuustutkimuksen avulla läpi layout-suunnittelun kannalta keskeisimpiä tekijöitä. Layoutin suunnitteluprosessia lähestytään soveltavasti Richard Mutherin *Systematic Layout Planning* -mallia hyödyntäen.

Kohdeyritykselle uuden layoutin tarve lähtee liikkeelle tulevasta työstökoneinvestoinnista. Sellaisenaan alkuperäiseen layouttiin, kone ei mahtuisi. Työpisteitä ja muita koneita tulee siis siirtää. Kohdeyrityksellä on myös ollut ongelmia materiaalivirtojen sekavuuden johdosta. Osia on saanut etsiä, eikä osia ole välttämättä edes löytynyt. Myös keskeneräisen tuotannon (KET) määrä on prosesseissa ollut suurta ja tämä on sitonut paljon lattia-alaa. Myös sisätiloissa olevia levyvarastoja haluttaisiin muuttaa tuotannon käyttötarkoituksiin.

Tämän diplomityön soveltavassa osuudessa selvitettiin ensin uuden koneinvestoinnin sijainti hallissa. Tämän jälkeen diplomityössä suunnitellaan uusia layout-vaihtoehtoja valitulle osastolle. Diplomityössä suoritettiin laaja materiaalivirtojen ja työtehtävien kartointus käyttäen apuna yrityksen toiminnanohjausjärjestelmää, tutkijan omia havaintoja sekä keskusteluita työntekijöiden kanssa. Videoinnin avulla tutkittiin prosessin työvaiheita, ja etenkin prosessissa esiintyvän hukan määrää. Videoista huomattiin, että mitä arvoa tuotamattomia työtehtäviä prosessissa on. Hukan tarkastelun yhteydessä myös eräkoon vaikutusta tutkittiin. Videoiden analyysien jälkeen otettiin layout-suunnittelun lähtökohdaksi siirtojen vähentäminen ja visuaalisuuden lisääminen prosessissa. Suunnittelun lopputuloksena saatiin erilaisia layout-vaihtoehtoja, joista jokainen täyttää vaatimukset nyt ja tulevaisuudessa. Kaikki vaihtoehdot lisäävät prosessiin visuaalisuutta ja vähentävät siirtojen määriä merkittävästi.

## ABSTRACT

**NICK KIVIRANTA:** Systematic development of a factory layout and development of flow efficiency

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 63 pages, 3 Appendix pages

November 2018

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

Major: Production and Automation Engineering

Examiner: Professor Kari T. Koskinen

**Keywords:** layout, material flow, batch size, waste, SLP

The objective of this master's theses is to plan a new layout for an industry factory. The layout should take account the new upcoming machine and possible changes to layout which it can bring. The factory is a subcontractor in metal industry. The client of this theses has shown large interest to develop its method and make invests.

Thesis begins with introduction to theories which are important for layout planning and flow efficiency. First is introduced flow efficiency through waste, 5S and standard work. Also, comparison against resource-efficiency is widely dealt with.

The other main theme is planning of factory layout. The goal for this thesis is a productive, efficient and safe layout for the client's factory. So, the main factors of layout planning should be introduced. The planning process itself is guided by using Richard Muther's *Systematic Layout Planning*.

The planning process starts from the need to fit the new machine into current layout. If the layout stays as it is, the new machine wouldn't fit anywhere. Workplaces and other machines should be moved. The client has also issues with the material flow. Employees use much work-time to search workpieces and in a worst scenario, workpieces were not found. Other issue is work-in-process (WIP). WIP uses a lot space from floor and makes waste, because employees must move WIP from corridors. Clients factory also includes material storage which is in production's department. Possibilities to change storage spaces into production spaces should also be noted.

The applied part of this theses starts from deciding where the new machine should be laid out. When the site of the machine was decided, the next step was to plan new layout alternatives for the factory. Layout design project starts with large analysis of material flows with help of the Enterprises Resource Planning system, notes of the researcher and interviews with employees. The main process was filmed, and the film analyzed. The main objective of the film was defining the waste in the process. Film also categorizes different forms of waste. Also, the effect of batch size was recognized to more flow-efficient production. When the film was analyzed, it was chosen that minimizing transportation and adding visualization in the process should be the basis of the layout planning. The result of the planning was different layout -alternatives which all fulfills requirements now and in the future. All alternatives also will make the process more visual and diminish the amount of transportation significantly.

## ALKUSANAT

Diplomityö tehtiin vuoden 2018 aikana. Työn lopputulos tulee vaikuttamaan monen ihmisen päivittäiseen työskentelyyn, koska muutosten määrää tehtaan layoutissa voidaan pitää melko suurena.

Haluankin kiittää koko tehtaan työntekijöitä mielenkiinnosta asiaa kohtaan sekä hyvästä työilmapiiristä. Erityiskiitokset haluaisin antaa mallinnusavusta ja useista keskusteluista menetelmäkehityspäällikkö Mikolle, Lean-asiantuntija/laatupäällikkö Jounille hukan ja virtaustehokkuuden käsittelyn liittyvistä neuvoista, tuotantoteknikko Hannulle erilaisten näkökulmien antamisesta ja yksikön päällikkö Timolle ohjaamisesta ja luotosta projektia kohtaan.

Haluan kiittää myös Tampereen teknillisen yliopiston puolelta ohjaajani, Kari Lyytikäistä ja diplomityön tarkastajaa Kari T. Koskista avusta kirjoittamisprosessin aikana.

Lopuksi haluan kiittää avopuolisoani Saaraa loppumattomasta tuesta ja kannustuksesta opintojeni aikana.

Turussa, 15.11.2018

Nick Kiviranta

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Kohdeyrityksen esittely .....	2
1.2	Diplomityön rajaukset ja tavoitteet .....	2
1.3	Valitut tutkimusmenetelmät .....	3
2.	VIRTAUSTEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT .....	5
2.1	Hukan eri muodot .....	7
2.2	5S .....	8
2.3	Visuaalinen ohjaus .....	9
2.4	Asetusaikojen minimoiminen .....	10
2.5	Tuotteen läpimenoaika ja eräkoon merkitys .....	11
2.6	Kaksi tehokkuuden lajia .....	14
3.	TEOLLISUUSLAITOKSEN LAYOUT SUUNNITTELU .....	17
3.1	Layoutiin vaikuttavia tekijöitä .....	20
3.2	Eri layout vaihtoehtoja .....	22
4.	TYÖSTÖKONEEN SIJAINNIN SUUNNITTELU JA LAYOUTIN LÄHTÖKOHDAT .....	26
4.1	Työstökoneen sijaintiin vaikuttavia tekijöitä ja vaihtoehdot .....	28
4.2	Sijainnin valinta .....	29
4.3	Hitsausosaston tuotanto ja nykyinen layout .....	32
5.	HUKAN MITTAAMINEN JA ERÄKOON PIENENTÄMINEN .....	38
5.1	Hukan mittaaminen .....	38
5.2	Eräkoon minimointi .....	42
6.	HITSAUSOSASTON UUDEN LAYOUTIN SUUNNITTELU .....	45
6.1	Materiaalivirran kartoittaminen .....	48
6.2	Suunnitteluprosessi .....	50
6.3	Uuden layoutin valinta .....	52
6.4	Tulosten arviointi .....	56
7.	YHTEENVETO .....	59
7.1	Jatkotutkimuskohteet .....	60
	LÄHTEET .....	61

LIITE A: Blocklayout -suunnitelmia

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

5S	Japanilaisten kehittämä menetelmä, jolla pyritään siisteyden ja järjestyksen kautta saamaan prosessia tehokkaammaksi
°C	Celsiusaste, lämpötilan yksikkö
ERP	Enterprise Resource Planning – toiminnanohjausjärjestelmä
KET	Keskeneräinen tuotanto prosessissa
min	Minuutti, 60 sekuntia
mm	Millimetri, metrin tuhannesosa
NVA	No value added – VA:n vastakohta, työprosessi, joka ei tuota virtausyksikköön arvoa, asia, josta asiakas ei maksa
SLP	Systematic Layout Planning – Richard Mutherin samannimiseen kirjaan pohjautuva layoutin suunnittelumalli
SMED	Single-Minute Exchange of Dies – asetusaikojen lyhentämiseen tähtäävä menetelmä
t	1000 kg, tonni
TPS	Toyota Production System, Toyotan luoma tuotantofilosofia ja johtamismalli
VA	Value added – työprosessi, joka lisää virtausyksikköön arvoa asiakkaan näkökulmasta, arvoa tuottavaa aikaa

# 1. JOHDANTO

Teollisuuslaitosten layout voi olla hyvin keskeisessä roolissa laitoksen toimivuuden ja tuottavuuden kannalta. Layout -ratkaisujen suunnittelemisen kannalta olennaisessa osassa on ensin selvittää ja analysoida, mitä valmistetaan ja miten valmistetaan? Kun nämä asiat tiedetään, tiedetään myös valmistettavien tuotteiden ominaisuuksia, kuten dimensioita, painoa, kemiallisia ominaisuuksia. Kun tiedetään, miten valmistetaan, tiedetään käytettävät työmenetelmät, valmistuslaitteet ja muut tarvittavat resurssit. Layout -suunnittelun näkökulmasta on olennaista selvittää myös, minkä kokoisessa tilassa valmistus tapahtuu ja miten asiat liikkuvat työpisteiden ja -alueiden välillä. Tätä liikehdintää voidaan kutsua myös materiaalivirraksi. Layout määrittelee laitoksen materiaalivirran. Yhtenä merkittävänä mittarina voidaan pitää etäisyyksiä. Aina, kun halutaan siirtää materiaalia paikasta toiseen, kuluu aikaa. Tämä aika ei todennäköisesti jalosta tuotetta ja näin ollen siirtoihin käytetty aika halutaan pitää mahdollisimman pienenä. On hyvä huomioda myös, että vastaanottavalla työpisteellä tai alueella on mahdollisuus ottaa vastaan materiaalia. Mikäli materiaalia siirretään ahtaille alueille väkisin, voidaan tukkia materiaalin siirtoihin tarvittavia käytäviä, tehdä työpisteiden materiaalinkäsittelystä haastavaa ja nostaa työtapaturman mahdollisuutta. Tähän tilantarpeeseen voidaan vaikuttaa layoutin kautta antamalla varastoille tai keskeneräisen tuotannon (KET) alueille enemmän tilaa. Molemmat alueet voidaan määritellä ja suunnitella tuotantostrategioiden kautta. Tulee kuitenkin huomata, että molemmat alueet vievät tuotannolta tiloja, joissa tuotteita voitaisiin valmistaa. Layoutin suunnittelua käsitellään tarkemmin luvussa 3.

Edellisessä nostettiin yksi arvoa tuottamaton työvaihe, siirrot. Arvoa tuottamaton työvaihe ei tuota tuotteelle asiakkaan näkökulmasta lisää arvoa. Toisin sanoen, kyseessä on prosessi, josta asiakas ei ole valmis maksamaan. Nämä voivat kuitenkin olla työn tekemisen kannalta välttämättömiä toimenpiteitä. Voidaan silti todeta, että nämä vaiheet on hyvä pitää mahdollisimman lyhyinä ja määrältään vähäisinä, koska asiakas ei ole valmis niistä maksamaan. Layoutin suunnittelun kannalta olennaisena arvoa tuottamattomana työvaiheena voidaan pitää juurikin siirtoja. Kuitenkin työpisteiden layoutin suunnittelussa voidaan vaikuttaa myös esimerkiksi nostoihin ja työntekijän kävelemiseen. Siirroista voi syntyä myös toista hukan muotoa, odottelua, esimerkiksi jos työpiste odottelee materiaalin siirtymisen toteutumista. Näitä, arvoa tuottamattomia tapahtumia kutsutaan yleisemmin hukaksi. Hukan eri muotoja ja niiden vaikutusta tuotantoon käsitellään luvussa 2.

Virtaustehokkuus ja layout -suunnittelu ovat tämän diplomityön pääteemat. Näitä käsitellään luvuissa 2 ja 3. Luvussa 4 aloitetaan layoutin suunnittelu valitsemalla tehtaaseen hankitulle työstökoneelle sijainti sekä esitellään tehtaan nykyistä layouttia ja tuotantoa.

Työstökoneen sijainnin suunnittelua voidaan pitää myös määräävänä tekijänä layout -muutoksille, koska nykyiseen layouttiin työstökone ei suoraan olisi mahtunut.

Yritystä, jonka tuotantolaitokseen tämä diplomityö kohdistuu, käsitellään nimellä kohdeyritys.

## **1.1 Kohdeyrityksen esittely**

Kohdeyritys tarjoaa osavalmistusta, hitsauskokoonpanoa, pintakäsittelyä ja tuotekehityksen palveluita ympäri Suomea. Kohdeyrityksellä on toimipisteitä Suomessa eri paikkakunnilla. Lisäksi kohdeyrityksellä on yksi toimipiste Puolassa. Tehtaiden konekannat ja palvelut poikkeavat hieman toisistaan. Tässä diplomityössä keskitytään ainoastaan kohdeyrityksen yhteen yksikköön. Kohdeyritys on alihankintayritys, jolla ei omaa tuotetta ole. Työt ovat siis asiakkaiden tuotteiden valmistamista.

Tehtaan toiminta on lähtenyt liikkeelle laserleikkaamisesta ja toiminta on hiljalleen laajentunut tarjoamaan muitakin valmistusmenetelmiä ja palveluita, kuten hitsaamista, särmäystä, koneistusta ja muita eri leikkaustekniikoita. Konekannan kasvaessa on tehtaan nykyinen layout -ratkaisu osoittautunut haasteelliseksi. Tilaa uusille koneinvestoinneille ei ole ja nykyiset työskentelytilat ovat alkaneet käydä ahtaiksi. Leikattavien levyjen koot voivat vaihdella pituuden osalta 8 metriin saakka, enimmäisleveyden ollessa noin 2,8 metriä. Tämä tarkoittaa, että yksittäinen levy voi viedä lattialta jopa 22 neliömetrin pinta-alan. Tehdas voidaan karkeasti jakaa kahteen tuotanto-osastoon, leikkauspuoleen (osavalmistukseen) ja hitsausosastoon (kokoonpanoon). Leikkauspuoli pitää sisällään levyjen leikkauskoneet, särmäyspuristimet, pajatyöskentelytilan (manuaalisesti suoritettavia las-tuavia- ja jatkojalostavia työvaiheita) sekä lähettämön. Hitsausosasto sisältää hitsaukseen liittyvät työskentelytilat. Hitsausosastossa on osavarastoja hitsauskokoonpanoja varten. Myös joitakin levyjä säilytetään tuotannon tiloissa, mutta suurimmalle osalle levyistä on kuitenkin oma ulkovarasto.

## **1.2 Diplomityön rajaukset ja tavoitteet**

Diplomityön lähtökohtana oli suunnitella tehtaaseen hankittavalle työstökoneelle sijainti. Lähtötilanteena pidettiin nykyistä layouttia ja lähtökohtaisesti työstökoneen tuli sijaita nykyisen tehtaan tiloissa. Layouttia tuli siis muuttaa niin, että työstökone mahtuu tehtaan tiloihin. Materiaalivirtaa pidetään ristiin menevänä ja tavoitteena on layoutin avulla saada tähän kehitystä kohti suoraviivaisempaa ja yksisuuntaista materiaalivirta. Lisäksi tuotantoprosessin hukkaa selvitetään tässä diplomityössä. Uuden layoutin on tarkoitus palvella tuotantoprosessia tehokkaammin sekä tulevaisuuden muutokset tulee olla huomioituna. Valittavalta layout -suunnitelmalta toivotaan siis joustavuutta. Tehtaan työstökoneinvestoinnin tulee myös olla hyvin huomioituna layout -suunnitelmassa ja näin ollen työstöko-



neen sijainnin suunnittelu on myös osa tätä diplomityötä. Lisäksi tässä diplomityössä tarkastellaan hitsausosaston päätuotantoprosessissa eräkoon minimoimisen vaikutusta läpimenoaikaan.

Tehtaassa on hitsausosaston lisäksi osavalmistuspöytä ja useita levyvarastoja. Näihin kohdistuvat laajemmat kehittämistoimet kuitenkin rajattiin diplomityöstä pois, työstökoneen sijainnin ja hitsausosaston layoutin laajemman tutkimisen johdosta. Työn lopputuotteena voidaan pitää valittua layout -suunnitelmaa. Valittu layout -suunnitelma on myös tarkoitus toteuttaa. Kuitenkin itse muutosprojektin suunnittelu ja aikatauluttaminen eivät ole osa tätä diplomityötä.

### 1.3 Valitut tutkimusmenetelmät

Diplomityössä käytettiin kahta eri tutkimusmenetelmää: kirjallisuustutkimusta ja toimintatutkimusta. Toisaalta kvantitatiivisen tutkimuksen piirteitä käytettiin paljon tiedonkeruun ja taulukoinnin muodossa. Toimintatutkimuksessa olennainen osa on lähtötilanteen laaja selvittäminen. Kirjallisuustutkimuksesta esitellään tämän diplomityön kannalta keskeisimpiä teemoja. Kirjallisuustutkimus alkaa virtaustehokkuuden ja tähän vahvasti liittyvästä muutamien lean -menetelmien esittelystä. Leania voidaan kuvata kahdella eri tavalla. Yhden näkökulman mukaan, lean on suuri määrä erilaisia työkaluja ja menetelmiä. Toisen näkökulman mukaan lean on enemmän abstrakti asia, kuten filosofia tai periaate (Modig et.al s. 85). Jos pitäisi valita näiden näkemysten väliltä, niin tässä työssä lean nähdään enemmän työkaluna, diplomityön luonteen johdosta. Kuitenkin merkittäviä havaintoja saavutettiin jo pelkästään ”työkaluajattelulla”. Kirjallisuustutkimuksessa esiteltäviä lean-työkaluja ovat hukan määrittäminen ja vähentäminen, visuaalinen ohjaus, 5S. Tuotantolaitoksessa oli diplomityön aikana meneillään 5S -koulutus henkilöstölle ja tämä näin ollen tuki myös diplomityölle asetettuja tavoitteita.

Virtaustehokkuuden jälkeen käsitellään layout -suunnitteluun liittyviä tekijöitä. Huomataan, että layout -suunnittelu on hyvin monipuolinen ja vaativa suunnitteluprosessi. Siirtojen ja mahdollisten uusien hankintojen uuden layoutin tarpeisiin, pitää olla hyvin perusteltuja. Näin ollen layout -suunnittelun tulisi olla hyvin analysoitua ja systemaattista parhaimman lopputuloksen saavuttamiseksi. Yksi lähestymistapa, jota tässä diplomityössä sovelletaan, on Richard Mutherin kehittämä Systematic Layout Planning (SLP) -toimintamalli layoutin suunnitteluun.

Tutkimusmenetelmäksi valittiin toimintatutkimus, jossa tutkija on aktiivinen tekijä. Tutkimusmenetelmän valinta johtui tarpeesta, jossa tekijä vie todellisuudessa layoutin kehittämisprojekti läpi tutkimuskohteessa. Toimintatutkimus voidaan jakaa viiteen eri vaiheeseen: 1. alkutilanteen kartoitus 2. toiminnan ideointi 3. tehtävien käynnistäminen ja toteuttaminen 4. vaikutusten seuranta sekä havaintojen tekeminen 5. jälkihoito (Niskanen 2011). Kysymyksiin ”miten tämä tulisi tehdä jatkossa?” tulee siis toimintatutkimuksessa

hakea vastauksia. Tähän kysymykseen vastaa parhaiten valittu lopputulos. Tuotantolaitoksen nykytilanteen selvittämiseksi diplomityössä, lattiatason havaintojen lisäksi, kerättiin tietoa toiminnanohjausjärjestelmästä (ERP). Iterointikierrokset, jotka ovat olennainen osa toimintatutkimusta eivät esiintyneen perinteisellä tavalla tässä työssä. Layoutin suunnittelun eri vaihtoehtojen esittämistä ja läpikäymistä pienryhmässä voidaan kuitenkin rinnastaa iterointikierroksiin soveltuvasti.

Tämän työn kannalta merkittävänä kirjallisuuden lähteinä pidettiin Richard Mutherin vuonna 1962 julkaisemaa *Systematic layout Planning* -teosta, jonka esittämää layoutin suunnittelun prosessimallia sovellettiin tehtaan uuden layoutin suunnitteluun. Japanissa Toyotan tehtaalta lähtenyt Toyotan tuotantomalli *Toyota production system* (TPS) länsimaissa paremmin *lean* -tuotantona. Tämän diplomityön kannalta merkittävänä *lean* -teoksina käytettiin: *Tätä on Lean* (Modig et al. 2018) ja Likerin *Toyota way* (2004).

## 2. VIRTAUSTEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Toyotan kehittämästä tuotantotavasta käytetään yleisesti nimitystä Toyota Production System (TPS). TPS on systemaattisin ja kehittynein esimerkki Toyotan tavasta (Liker 2004 s. 27). Vakiintunut länsimainen termi TPS:lle on yleisimmin lean. Vaikka TPS pidetään leanin alkuperänä, niin kyseessä on kaksi täysin eri käsitettä (Modig et.al 2018, s. 77). Lean voidaan mieltää monella eri tavalla, se on kokoelma ”lean työkaluja”, kuten SMED, hukan eliminointi, kanban, conwip ja arvovirtakuvaus. Valitettavan monella yrityksellä on tapana pitää itseään ”lean yrityksenä”, kun jokin edellä mainituista työkaluista on otettu käyttöön ja mahdollisesti nähty tuloksia. Kuitenkin Toyotan kehityspäälliköiden mukaan leanissa on enemmän kyse filosofiasta kehittää toiminta jatkuvasti ja pyrkiä täydellisyyteen (Liker 2004 s. 295-301). Leanissa on kyse hukan eliminoinnista, asiakastyytyväisyyden maksimoinnista ja prosessin nopeuttamisesta.

TPS jakautuu myös neljään sääntöön (Spear et al. 1999): 1. kaiken työn tulee olla tarkkaan määriteltyä, sisällöistä, sekvensseistä, ajoituksesta ja lopputuloksesta 2. Jokainen asiakastoimittaja-ketjun tulee olla suora ja kaikessa viestinnässä tulee olla selkeä kyllä-tai-ei tapa 3. Väylä jokaiseen tuotteeseen tai palveluun tulee olla yksinkertainen ja suora 4. Kaikki kehitys tulee tehdä tieteellisten menetelmien mukaisesti. Tätä tulee myös valvoa aina organisaation alimmasta tasosta lähtien. Liker puolestaan esittää 14 johtamisperiaatetta Toyotan tavoista: 1. Päätösten asettaminen pitkänajan tähtäimille 2. Jatkuvan virtauksen luominen 3. Imujärjestelmän käyttäminen 4. Työmäärän tasapainottaminen 5. Ongelmia ratkovan kulttuurin luominen 6. Työtehtävien standardisointi 7. Visuaalisen ohjauksen käyttäminen 8. Luotettavan teknologian käyttäminen 9. Kasvata johtajia, jotka ymmärtävät koko prosessin 10. Kehitä tiimejä, jotka ymmärtävät yrityksen filosofian 11. Kunnioita alihankkijoita ja yhteistyökumppaneita 12. Menee ja näe itse (Genchi Genbutsu) 13. Tee päätökset hitaasti, miettien kaikkia vaihtoehtoja, toteuta nopeasti 14. Muutu oppivaksi organisaatioksi (Liker 2004).

Lean puolestaan jaetaan yleensä viiteen periaatteeseen (Womack 1990, Huhtala 2009 s. 183-186, Piirainen 2017). Toisaalta on myös esitetty, että Lean koostuu 25 eri periaatteesta, jotka on esitetty kuvassa 1. Voidaan todeta, että Leanin tulkinta ei ole täysin yksiselitteistä. Leanin ensimmäinen periaate on tunnistaa arvo asiakkaan näkökulmasta. Eli asioita, joista asiakas maksaa. Yksi tapa on luoda arvovirtakuvaus (VSM), jolla voidaan hahmottaa prosessissa arvoa tuottava ja arvoa tuottamaton aika. Arvoa tuottamaton aika on hukkaa, joka on tärkeää poistaa prosessista. On kuitenkin huomioitavaa, että on olemassa työtehtäviä, jotka ovat pakollisia, mutta eivät tuota arvoa tuotteelle. Hukkaa käsitellään enemmän myöhemmin. Kun hukka on poistettu prosessista, voidaan luoda virtaus

järjestelmälle. Olennaista virtauksen luomiselle on työpisteiden välinen etäisyys ja erä-koko. Äärimmäisenä tavoitteena voidaan pitää yhden tuotteen pysähtymätöntä virtausta prosessin läpi. Neljäs vaihe on imun järjestäminen tuotannolle. Asiakas on imuohjauksen vetäjä, joka antaa signaalin tuotteen valmistukselle. Viimeinen ja vaiheet toisiinsa sitova vaihe on täydellisyyteen pyrkiminen. Tämä tarkoittaa syklin aloittamista alusta ja luo päättymättömän kehän kehitykselle. (Liker 2004, Huhtala 2009 s. 183-186). Keskiössä on kuitenkin jatkuva hukan vähentäminen ja asiakkaan odotusten ylittäminen (Weber 2007, s.180).

Asiakas	Parantaa	Vältä ylikuormitus
Päämäärä	Viivästytä	Osallistuminen
Yksinkertaisuus	Ennakointi	Ajattele pienesti
Hukka	Aika	Luottamus
Visuaalisuus	Kumppanuus	Tietotaito
Säännöllisyys	Arvoverkko	Prosessi
Virtaus	Todellinen paikka	Nöyryys ja kunnioitus
Tasaisuus	Kysely (ja kuuntelu)	
Imu	Vaihtelu	

Kuva 1. *Leanin 25 periaatetta (mukailen Piirainen 2017)*

Virtaustehokkuuden ja resurssitehokkuuden välinen ero ovat avainasemassa, kun yrityksissä aloitetaan lean -projekteja. Resurssitehokkaassa ympäristössä resurssia, joka voi olla kone, työpiste tai työntekijä, pyritään pitämään mahdollisimman kiireellisenä. Tehdään siis niin paljon kuin on mahdollista. Mikäli tuote sisältää monta eri työvaihetta ja työvaiheet kestävät eri ajanjaksoja voi johonkin työvaiheeseen syntyä jono ja muut työvaiheet saattavat joutua odottelemaan (joka on myös yksi myöhemmin käytävistä hukan muodoista). Tätä ilmiötä voidaan kutsua pullonkaulaksi. Pullonkaulan eteen kerääntyy usein paljon keskeneräistä tuotantoa (KET) (Roser et al. 2015 s.2, Lödding 2011). KET:ssä oleva tuotanto on puolijaloste, joka odottelee seuraavaa työvaihetta ja sitoo tuotannolta mahdollisesti lattiatilaa. Tästä voi syntyä, odottelun lisäksi, myös toista hukan muotoa, siirtelyä, mikäli KET-jonoa tulee siirtää pois tieltä. Yksi vaihtoehto on siirtää KET-jono toiseen paikkaan, väliaikaiseen varastoon. Tällä kuitenkin saavutetaan ylimääräisen siirtelyn lisäksi työn uudelleen aloittamista ja mahdollisesti turhaa varastointia. Resurssitehokkuutta on kuitenkin myös merkittävää tavoitella, koska resurssien odotteleminen ei ole hyväksi tuotannon kannattavuudelle, koska yleensä resurssit ovat arvoa tuottavia tekijöitä. Mikään näistä edellä esitetyistä hukan muodoista ei kerrytä arvoa tuotteelle, eli

asiakas ei maksa näistä. Voidaan helposti todeta, arvoa tuottamattomien asioiden vähentäminen on tavoiteltavaa.

Virtaustehokkuuden näkökulmasta arvoa lisäävän ajan osuus on korkein prioriteetti. Tuote pyritään saamaan tuotannosta mahdollisimman nopeasti läpi. Tällöin myös arvoa tuottavan ajan osuus läpimenoajasta on suurempi. Ensisijaista on, että virtausyksikkö (tuote) kulkee prosessin läpi mahdollisimman nopeasti, vaikka tämä saavutettaisiinkin resurssitehokkuuden kustannuksella. Koska virtausyksikkö on tuotannossa hyvin vähän aikaa, saadaan maksimoitua arvoa tuottavan ajan osuus työhön käytettävästä ajasta. Tässä luvussa esitellään tekijöitä, joilla prosessia voidaan viedä lähemmäs virtaustehokkaampaa suuntaa.

## 2.1 Hukan eri muodot

Kirjallisuudessa hukka jaetaan kolmeen eri muotoon. Tässä yhteydessä keskitytään TPS:n mukaisiin kolmeen eri hukan muotoon (Liker 2004, s. 88-89). Ensimmäinen näistä on **mura**, eli epäsäännöllisyys. Epäsäännöllisyyttä syntyy vaihtelusta, jota voi olla kaikessa tekemisessä. Vaihtelua tuo esimerkiksi asiakkaiden tilaamistavat ja -vaatimukset, koneiden ja laitteiden hajoamiset, työntekijöiden sairastumiset, työntekijöiden väliset osaa-miserot. Epäsäännöllisyydestä syntyy häiriöitä ja laatuongelmia. Tämä kaikki johtuu johdonmukaisuuden puutteesta prosessissa.

Kun epäsäännöllisyydestä on päästy eroon, tulee poistaa **muri**, eli ylikuormitus. Ylikuormitus sisältää vakavimman hukan muodon, jota yleisesti pidetään ylituotantona. Ylituotanto aiheuttaa turhaa siirtelyä, turhaa varastointia ja sitoo myös pääomaa ja hylly -ja/tai lattiatilaa. (Liker 2004, s. 89). Ylituotantoa voidaan pitää myös resurssitehokkaan toimintamallin lopputuloksena, koska virtaustehokkaassa tuotannossa ylituotantoa ei (yhtä helposti) synny.

**Muda** on hukkaa. Eli aikaa, joka ei tuota arvoa tuotteelle (no value added - NVA). Muda jaetaan TPS:ssä kahdeksaan hukan muotoon, joita pyritään poistamaan prosessista. Nämä hukan muodot ovat: ylituotanto, odottelu, tarpeeton kuljettelu, ylikäsittely, liiallinen varastointi, tarpeeton liike, viat ja työntekijöiden hyödyntämätön potentiaali (Liker 2004, s. 89, Webber et al. 2007, s. 186-192). Hukka on siis tapahtuma, josta asiakas ei ole valmis maksamaan. Voidaan helposti todeta, että asiakas tuotetta tilatessa ei ole valmis maksamaan tuotteen odottelusta tehtaalla. On myös palveluntarjoajan edun mukaista, etteivät tuotteet odotele tuotannossa. Odottelulla tarkoitetaan myös yhden tuotteen odottelua työpisteelle tai koneelle jalostukseen. Tarpeeton liike voi puolestaan aiheuttaa etsimistä. Mikäli työntekijä siirtää tuotteen sovitusta poikkeavaan paikkaan, voi tuotetta tarvitseva työntekijä kuluttaa paljon aikaa tuotteen etsimiseen. Tarpeeton liike voi koskea myös työkalun etsimistä ja noutamista työpisteiden välillä. Liiallinen varastointi piilottelee muita ongelmia, kuten huonoa tuotteen laatua tai prosessin ongelmia (Webber et al. s. 190).

Varastointi voi myös viedä tuotannolta tehokasta tilaa arvoa tuottavilta menetelmiltä. Voidaan todeta, että useat tuotteet tai palvelut eivät jalostu varastoinnista.

## 2.2 5S

Yksi menetelmä toiminnan kehittämiseksi ja visuaalisuuden lisäämiselle on 5S. Termi 5S muodostuu viidestä japaninkielisestä sanasta: seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke. Nämä tarkoittavat järjestyksessä: lajittele, järjestä, puhdista, standardoi ja ylläpidä. 5S on myös yksi Likerin esittämistä TPS:n periaatteista, jolla kasvatetaan visuaalista ohjausta, jolla saadaan ongelmia esille. (Liker 2004, s. 149-150, Srivivasan et al. 2016). Olennaista on ymmärtää, että siivoaminen, järjestäminen ja lajittelu eivät ole itse tarkoituksia, vaan tapoja päästä päämäärään, eli hukan ja tuhlauksen poistamiseen (Tuominen 2010, s. 49). Lean tuotannossa 5S mielletään työkaluna tasaisen virtauksen tukemiseksi. Hyvin toteutettuna tuotantoon saadaan lisää läpinäkyvyyttä ja visuaalista ohjattavuutta. (Liker 2004, s. 152). Onnistuneen 5S läpiviennin on myös huomattu tekevän tuotannosta tehokkaampaa ja pienentävän tahtiaikaa (Lynch 2005). Muina etuina on pienemmät kustannukset, parempi työskentelymoraali, kasvanut turvallisuus, nopeammat työnvaihtoajat ja liikku-  
misen helpottuminen (Webber et al. s. 214).

5S projektin aloittaa usein seiri, eli lajittelu (Liker 2004, s. 149). Tässä vaiheessa tunnistetaan kaikki tarvittavat ja tarpeettomat asiat esimerkiksi työpisteiltä. Mikäli työpisteellä on useampi sama työkalu, ylimääräiset siirretään työpisteeltä pois. Työpisteelle jätetään siis vain tarpeelliset työkalut ja tarvikkeet. Tämä vaihe voi poistaa hukkaa, koska yhtä tiettyä työkalua ei tarvitse etsiä muiden työkalujen joukosta. Työkalujen säilytyslaatoissa voi olla myös viallisia tai rikkiäisiä työkaluja. Esimerkiksi viallinen mittalaite voi vaikuttaa myös tuotteen laatuun antamalla virheellistä mittadataa. Nämä tulisi siis mahdollisuuksien mukaan uudelleen kalibroida tai vaihtaa uuteen.

Kun kaikki tarpeettomat työkalut on poistettu työpisteiltä, voidaan tarvittaville työkaluille määrätä omat paikat ja suorittaa järjestely. Määrätyistä paikoista tulee pitää kiinni ja esimerkiksi työkaluseinään voidaan piirtää työkalun ääri viivat. Tällä tavalla työkalun puuttuminen voidaan huomata nopeasti. Lähtökohtaisesti työkalut palautetaan käytön jälkeen omalle paikalleen ja näin olleen etsimiseen ei kulu aikaa. Seiton -vaihe poistaa myös hukkaa, koska työkalujen etsimiseen kuluu entistä vähemmän aikaa.

Kolmannessa vaiheessa (seiso) työpisteiden, laitteiden ja tilojen siisteyteen kiinnitetään huomiota. Etenkin laatuongelmia ja koneiden kulumista voi syntyä, mikäli koneita ja laitteita ei pidetä siisteinä (Tuominen 2010, s. 49). Lattiatilan jakaminen osiin luo visuaalisuutta ja helpottaa työpisteiden tarkastamista ja logistiikkaa. Kulkuväylät ja lattialueet voidaan jakaa esimerkiksi viivoilla (Tuominen 2010, s. 53). Esimerkiksi työpisteelle saapuvalla ja lähtevällä materiaalilla on hyvä olla omat alueet rajattuna. Toinen tämän vaiheen tavoite on luoda asiakkaille ja muille tehdasvierailijoille puhdas ja järjestelmällinen kuva yrityksestä. Tällä pyritään luomaan hyvää ensivaikutelmaa.

5S -projektin neljännessä vaiheessa standardisoidaan uusi normi ja menetelmät. Standardointi -vaiheen tarkoitus on estää paluu vanhaan tilaan ja ylläpitää se, mitä on saavutettu (Tuominen 2010, s. 61). Eräs standardisoinnin menetelmä on ennaltaehkäisy, joka voidaan jakaa kolmeen keinoon: 1. Tarpeettoman kerääntymisen estäminen 2. Valvotaan, että asiat palautuvat omille paikoilleen 3. Epäpuhtauksien ja kosteuden estäminen. Työpisteille voidaan esimerkiksi luoda tarkastuslistat, jossa huomioidaan järjestyksen, siisteyden ja koneiden kunnossapidon kannalta olennaisia asioita.

Viimeinen vaihe 5S -projektissa tähtää jatkuvaan kehittämiseen ja ylläpitämiseen, kaizeniin. Kaizen on yksi TPS:n tavoitteista, ja jatkuva parantamista voi tapahtua vain, kun työtavat on vakioitu ja prosessi on vakaa (Liker 2004, s. 252). Tarkoitus ylläpitovaiheessa on kehittää toimintaperiaatteita jatkuvasti tehokkaammiksi. Uhkakuvana on, että hyvin aloitetun 5S projektin jälkeen taannutaan vanhaan. Esimerkiksi työkaluja ja tarvikkeita alkaa jälleen kerääntyä työpisteille, koneet likaantuvat, materiaalivirta sekoittuu. Toimenpiteitä, joilla saavutettua tasoa voidaan ylläpitää, on tietoisuuden ylläpitäminen, riittävän ajan varaaminen siivoustehtäville, palkitseminen, riittävät tukitoimet, tyytyväisyys ja innostuneisuus. (Tuominen 2010, s. 75-77).

5S -prosessin suurimmat uhkakuvat ovat juuri palautuminen vanhaan tapaan tehdä asioita. Tämän välttämiseksi vaaditaan työnjohdon sitoutumista ja sovittujen uusien pelisääntöjen valvomista. 5S -prosessi voi olla myös kuluttaa hyvin paljon aikaa, riippuen kohteen lähtötasosta. Myös työntekijöiden turvallisuuden- ja mukavuudentunne tulee ottaa huomioon. Esimerkiksi työpisteet voivat olla hyvinkin ”henkilökohtaisia” ja omia osa- ja työkalukätköjä voi paljastua prosessin aikana. Näistä luopuminen ja tapojen muuttaminen voi aiheuttaa muutos vastarintaa. (Webber et al. s. 215)

## 2.3 Visuaalinen ohjaus

Työntekijöiden väliset etäisyydet voivat aiheuttaa kommunikointivajetta ja epähalukkuutta vapaaehtoiseen yhteistyöhön (Kraut et al. 2001). Valmistavassa teollisuudessa työpisteiden ja sitä kautta työntekijöiden väliset etäisyydet voivat olla hyvinkin pitkiä. Myös myöhemmin esitettävillä layout -malleilla on vaikutusta asiaan, koska viimeistään päätös layoutista sitoo työpisteiden väliset etäisyydet. Allen puolestaan on tutkimuksessaan esittänyt, että jo 25-30 metrin etäisyys voi tehdä kommunikoinnista epätodennäköistä (2007 s. 26). On kuitenkin huomioitavaa, että Allenin tutkimus suoritettiin suunnitteluosaston henkilöillä, ei niinkään valmistavan teollisuuden työntekijöillä.

Jeffrey Liker on kirjassaan *Toyota Way* perehtynyt Toyotan tuotantojärjestelmään (TPS). Kirjassa Liker esittelee 14 Toyotan johtamisen periaatetta, jotka ovat mahdollistaneet suurta kiinnostusta länsimaissakin herättäneen Toyotan tuotantomallin. Yksi näistä periaatteista on visuaalisen ohjaamisen käyttäminen koko prosessissa (Liker 2004, s. 149-158). Työnjohdolle tulisi olla helppoa nähdä mahdolliset poikkeamat ja tuotannon tila pelkästään vilkaisemalla tuotantoa (Liker 2004, s. 152). Visuaalisuutta voidaan kehittää

aiemmin esitetyllä 5S tavoilla, esimerkiksi lattiaviivoilla. Lattiaviivoilla rajataan työpisteeltä jokaiselle asialle oma paikka ja alue. Myös työpisteiden siisteys on tärkeä osa visuaalisuuden lisäämistä. Toinen visuaalisuuden lisääjä on sijoittaa tuotantoon erilaisia mittareita, kuten läpimenoa tai meneillään olevia työtehtäviä kaikkien tuotantoon osallistuvien henkilöiden näkyville. Tuotannon mittareilla voidaan tarkkailla tehokkuutta ja häiriöherkkyyttä.

## 2.4 Asetusaikojen minimoiminen

Yksi merkittävä vaihtelun aiheuttaja on asetteen tekeminen tuotannolle. Asetteella tarkoitetaan sellaisia toimenpiteitä, jotka tulee suorittaa ennen tuotannon aloittamista. Tällaisia työtehtäviä on esimerkiksi siirrot, suojavarusteiden pukeminen, koneen tarkastaminen, ohjelmoiminen, piirustusten tulkinta, kirjaukset, työkalun vaihtaminen ja kappaleen kiinnittäminen. Asetustehtäviin voi kulua huomattavan paljon aikaa. Tämä aika tulee ottaa myös huomioon tuotannon suunnittelussa. Myös itse työn suorittajasta saattaa aiheutua vaihtelua laadun tai käytetyn ajan suhteen.

Asetteeseen liittyvät tehtävät eivät lisää tuotteen arvoa, mutta ovat usein välttämätön osa tuotantoprosessia. On siis perusteltua, että asetusten tekemiseen käytettävä aika olisi mahdollisimman pieni ja suunnittelun helpottamiseksi, vakio. Miten siis tutkitaan asetusten tekemistä? Yksi tapa on videoida työpisteellä tapahtuvat tehtävät. Videoinnilla saadaan tietoa työtehtävistä ja lisäksi työhön käytetty aika. Nämä kaksi ovat merkittäviä tietoja prosessin kehittämistyön onnistumisen tarkkailussa (Kjell 2001). Näin ollen voidaan kerätä tietoa, minkälaista hukkaa itse työprosessissa syntyy ja lisäksi mittaroida työhön käytettyä aikaa mahdollisten muutosten jälkeen.

Asetusaika voidaan jakaa syklin sisäisiin ja syklin ulkoisiin asetuksiin. Sisäiset asetukset tapahtuvat tuotantosyklin aikana eli silloin, kun laite valmistaa tuotetta tai arvoa lisätään tuotteeseen. Ulkoinen asetus on asetustehtävä, joka tapahtuu esimerkiksi kappaleenvaihdon tai muuhun työtä esivalmisteleavan työn kautta. (Liker 2004, s. 71-72). Riippuen koneen operaattorin tehtävistä ja koneen työtehtävän kestosta, voidaan määritellä, kumman asetusajan pienentäminen on helpompaa.

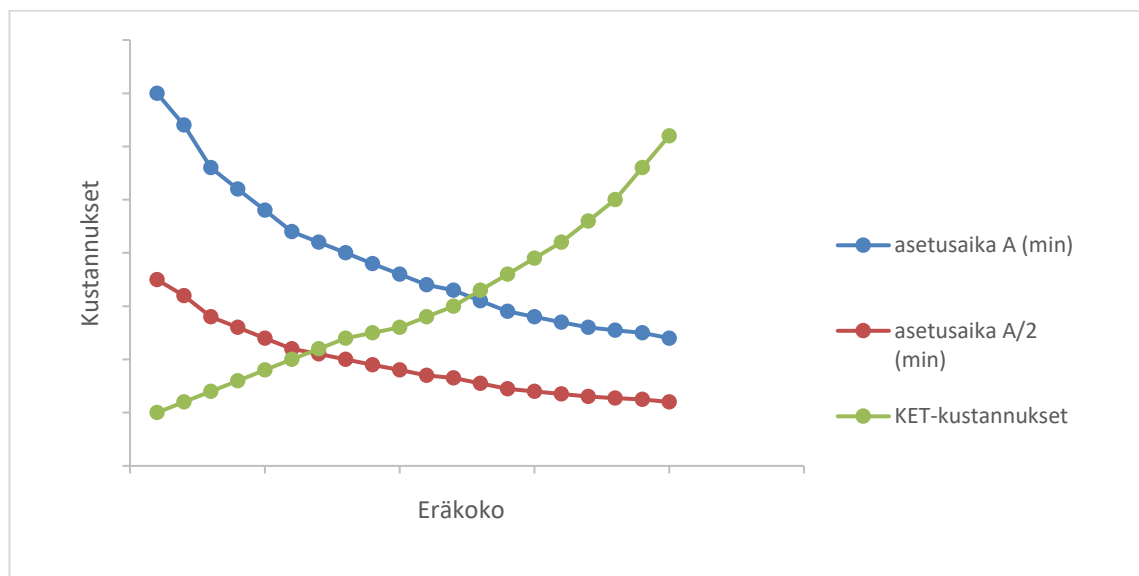
Ulkoisiin asetuksiin käytettyä aikaa on kannattavaa pienentää, koska odotteluun käytetty aika on yksi hukan muodoista, kuten aiemmin esitettiin. Yksi menetelmä asetusajojen kriittiseen tarkastelemiseen on SMED:in (single minute exchange of dies) suorittaminen. Videoinnilta pohjalta voidaan helposti tunnistaa hukka ja aika, joka asetusten tekemiseen kuluu. SMED on yksi lean -työkalu, jonka avulla on saavutettu tutkimuksien mukaan merkittävästi lyhyempiä vaihto- ja asetusajoja (Al-Akel 2018, Brito 2017). Luvussa 5 tarkastellaan NVA-jakautumista hitsauskokoonpano -prosessissa. Aikojen ja tapahtumien tarkastelua varten suoritettiin videokuvauksia.



## 2.5 Tuotteen läpimenoaika ja eräkoon merkitys

Läpimenoaika kuvaa tuotteen tai prosessiin kuluvaa aikaa työskentelyn aloittamisesta työskentelyn päättymiseen, jolloin tehtävä saadaan valmiiksi (Bragg 2017). Usein läpimenoajalla voidaan tarkoittaa myös valmistuksen tai koko prosessin läpimenoaikaa (Haverila et al. 2009, s.401). Läpimenoajalla voidaan siis mitata järjestelmän valmistusnopeutta ja on myös ainoa mittari, jolla voidaan verrata matalia valmistuskustannuksia ja korkeaa myyntiä (Mikati 2010). Läpimenoajan tulisi siis kyetä vastaamaan asiakkaiden kysyntään. Tämä tulee ottaa huomioon järjestelmän suunnittelussa ja kapasiteettia määrittämisessä. Läpimenoaikaan voidaan kuitenkin usein vaikuttaa muutoksilla. Aiemmin esiteltiin hukan muotoja, ylimääräisiä toimenpiteitä, jotka hidastavat tuotantojärjestelmää ja näin ollen pidentävät tuotteen läpimenoaikaa. Voidaan helposti todeta, että esimerkiksi ylimääräisiä siirtoja tai odotteluita vähentämällä saadaan läpimenoaikaa pienemmäksi, koska aikaa ei kulu hukkatyöhön. Tässä yhteydessä kuitenkin tarkastellaan hieman tarkemmin eräkoon merkitystä tuotteen läpimenoaikaan.

Haverilan mukaan keskeisimpiä tuotteen (tai tuotannon) valmistuksen läpimenoaikaan vaikuttavia tekijöitä ovat erä koko ja välivarastot (2009, s. 406). Näitä pienentämällä ja karsimalla voidaan lyhentää tuotannon läpimenoaikaa. Kuvassa 2 on esitetty asetusajoista ja keskeneräisestä tuotannosta johtuvia kustannuksia eräkoon merkityksen kautta.



Kuva 2. Taloudellisen optimieräkoon ja asetusaikojen yhteys (mukailen Haverila 2009, s. 408)

Kustannukset kasvavat liikuttaessa y-akselilla ylöspäin. X-akselin suuntaan oikealle siirryttäessä kasvaa tuotannon erä koko. Huomataan, että eräkoon ollessa pieni, mutta asetusajan korkea, on suurimmat kustannukset asetusajalla. Keskeneräisen tuotannon kustannuksien määrä on alhainen, koska tuotannon erä koko on pieni, eikä keskeneräistä tuotantoa pääse paljoa syntymään. Eräkoon kasvaessa sekä asetusajat että asetuksiin liittyvät

kustannukset pienenevät. Tämä johtuu asetusten tekemisen määrän vähenemisestä. Vastaavasti KET-kustannukset kasvavat, koska keskeneräistä tuotantoa syntyy enemmän. Tavallisesti KET kerääntyy järjestelmän pullonkaulan eteen (Lödding 2011). Pullonkaula on toiminto tai työpiste järjestelmässä, joka hidastaa muuta tuotantoa. Pullonkaula voi olla järjestelmän hitain prosessi ja muut työpisteet saattavat joutua odottelemaan pullonkaulan johdosta. Prosessin pullonkaulat ja suuri keskeneräinen tuotanto vaikuttavat suoraan myös tuotteen läpimenoaikaan (Roser et al. s.2).

Optimieräkoot ovat molempien asetusaikojen ja KET-kustannuksien kuvaajien leikkauskohdissa. Tällöin siis asetusaajoista johtuvien kustannusten ja KET-kustannusten summa on pienin. Optimaalisen eräkoon löytäminen voi olla haastavaa. Tavoitteena voidaan pitää, ettei mikään tuotannon prosessi joudu odottelemaan tai mikään prosessi ei ylikuormitu. Sen sijaan asetusajan pienentämiseen on olemassa menetelmiä kuten SMED-analyysi ja työtapojen standardointi.

Littlen lain mukaan tuotannon keskimääräinen läpimenoaika saadaan määriteltä, kun tiedetään KET ja järjestelmän suoritusteho (Hopp et al. 2008, s.239). Läpimenoaika on KET jaettuna järjestelmän suoritusteholla. Suoritusteho voi olla myös esimerkiksi saapuvan uuden tuotannon määrä järjestelmään (Kim et al. 2013) tai läpimeno (Karjalainen 2013). Mitä pienempi KET on, sitä nopeammin tuote menee järjestelmän läpi ja tekee tuotannosta virtaustehokkaampaa. Vastaavasti suoritustehon pienentyminen nostaa läpimenoaikaa.

**Taulukko 1.** Esimerkki suuren eräkoon valmistuksesta (mukailen Liker 2004, s. 92)

Osan 1 valmistus									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Osan 2 valmistus/kokoonpano									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Laaduntarkastus (testaus)									
1	2	3	4	5 X	6	7	8	9	10

Myös TPS:ssä on esitetty eräkoon merkitys tuotteen läpimenoajalle. Edellisessä luvussa käsiteltiin hukan eri muotoja ja eräkoon pienentämisellä saadaan hukkaa vähennettyä prosessista (Liker 2004, s. 92-93). Taulukossa 1 on esitetty esimerkki tuotteen valmistamisesta. Tuotteen valmistus koostuu kahdesta valmistettavasta osasta ja laaduntarkastuksesta. Oletetaan, että osa 1 siirretään osan 2 valmistukseen, ja osa 1 liitetään osaan 2.

Lopuksi osien 1 ja 2 kokoonpano siirretään laaduntarkastukseen. Kaikki valmistuspaikat sijaitsevat eri osastoilla.

Kun osaa 1 on valmistettu 10 kappaletta, siirretään erä osan 2 valmistuspaikan lähetyville. Voidaan myös ajatella, että osat siirretään ensin välivarastoon. Kuitenkin, osat vievät tuotannolta tiloja, kun odottelevat seuraavaa työvaihetta. Kun osaa 2 on saatu 10 liitettyä osaan 1, siirretään KET-erä laaduntarkastukseen. Jälleen KET voi kulkea välivaraston kautta tai joutua odottelemaan. Laaduntarkastuksessa huomataan, että yksi tuote on viallinen (X-merkki taulukossa 1). Pakkaukseen tulee laittaa 10 tuotetta. Tällä menetelmällä tulee odottaa, että osan 2 valmistuksesta saapuu seuraava 10 kappaleen erä. Kaikki vaiheet ovat kestoaltaan 3 minuuttia ja näin ollen saadaan yhden tuotteen läpimenoajaksi:  $3 \text{ min} \times 10 + 3 \text{ min} \times 10 + 30 \text{ min} \times 10$ , eli yhteensä 1,5 tuntia. Tähän voidaan vielä lisätä aika, joka tulee viallisen tuotteen korvaajan odottelussa. Tässä ei oteta huomioon siirtymiä osastojen välillä, josta syntyy lisää aikaa. (Liker 2004, s. 92-93).

Otetaan yksiosaisen virtauksen työsolu käyttöön osien valmistukseen. Työpisteet sijaitsevat nyt fyysisesti vierekkäin ja eräkoiko pudotetaan yhteen. Laaduntarkastuksen eräkoiko pidetään samana. Taulukossa 2 on esitetty uusi tilanne. Viallinen osa laaduntarkastuksessa pidetään samassa paikassa.

**Taulukko 2.** Valmistus eräkoon muuttamisen jälkeen (mukailen Liker 2004, s. 93)

Osan 1 valmistus									
1									
Osan 2 valmistus									
1									
Laaduntarkastus (testaus)									
1	2	3	4	5 X	6	7	8	9	10

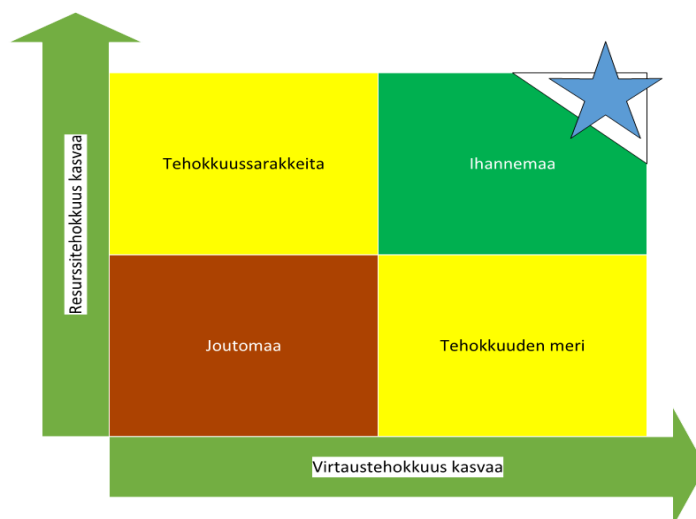
Osien valmistusaika pysyy samana. Läpimenoajaksi saadaan, linjan ylösajon jälkeen, tällä tavalla  $3 \text{ min} \times 1 + 3 \text{ min} \times 1 + 3 \text{ min} \times 10 = 36$  minuuttia. Laaduntarkastuksessa havaittu virheellinen kappale saadaan korvattua kolmessa minuutissa edellisen vaihtoehdon 30 min ja siirtymän sijaan. Lattiatilaa vapautuu 18 kappaleen verran, joka syntyi KET:stä. Prosessi nopeutui eräkoon pienentämisellä 60 prosenttia.

Voidaan todeta, että eräkoon pienentämisellä tuotteen läpimenoaikaa saadaan lyhennettyä. Tulee kuitenkin huomioda, että valmistusvaiheen 1 tai 2 vikaantuessa, tuotanto seisautuu 3 minuutin sisällä. Edellä esitetyssä ideaaliesimerkissä kaikkien eri työpisteiden

tahtiaika oli sama, eli 3 minuuttia. Harvoin kuitenkaan työpisteiden tahtiajat ovat tismalleen samoja, vaan eri työvaiheilla on erilaiset kestot. Tähän ratkaisuna voidaan käyttää esimerkiksi puskurivarastoa, johon voidaan kerryttää tuotantoa jonoon. Puskurivaraston raja on kuitenkin tärkeää määritellä, jotta vältytään suurelta tilantarpeelta ja turhalta odottamiselta.

## 2.6 Kaksi tehokkuuden lajia

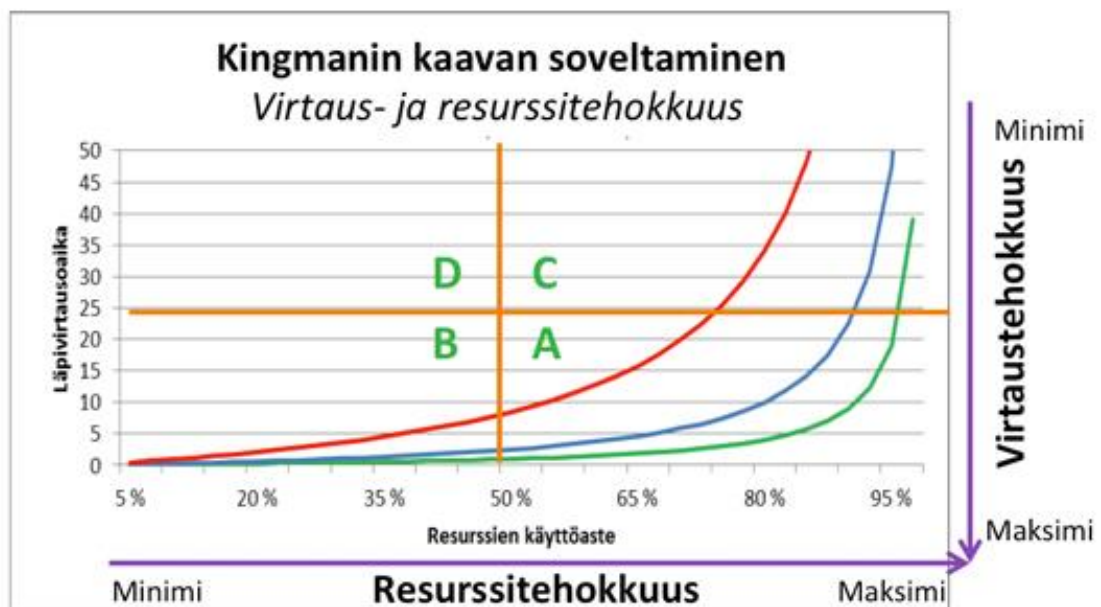
Massa- ja sarjatuotannossa on tapana ajatella, että tärkeää on resurssin maksimaallinen hyödyntäminen. Tärkeintä on, että koneet ja laitteet tuottavat taukoamatta ja työntekijät käyttävät työaikansa mahdollisimman tuottavalla tavalla. Olennaista on myös suuret eräkoot. Työvaiheiden epätasaisuudesta voi syntyä jonoja joihinkin prosessin työvaiheista. Tämä synnyttää odottelua tämän työvaiheen jälkeisille vaiheille. Pullonkaulan johdosta syntyy odotteluhukkaa, eikä asiakkaan näkökulmasta syntyvää arvoa kerry. Lisäksi yksittäisen tuotteen läpimenoaika voi pidentyä huomattavasti. Tämänlaista tehokkuuden muotoa kutsutaan resurssitehokkuudeksi, jossa nimensä mukaisesti pyritään hyödyntämään tuotannon eri resursseja maksimaalisesti. Voidaan pitää tärkeänä, että resursseja hyödynnetään optimaalisesti. Tällöin vältytään myös yhdeltä aiemmin esitellyltä hukan muodolta, ylikuormitukselta. Voidaan myös todeta, että sellaisenaan resurssitehokkuus ei ole leania. Lean keskittyy virtaamistehokkuuden maksimoimiseen, eli yksittäinen tuote (tai palvelu) virtaa mahdollisimman nopeasti koko prosessin läpi. Toisen näkökulman esittää Modig ja Åhlström *lean on virtaustehokkuuden strategia, jonka peruseräaatteita ovat just-in-time ja visuaalinen ohjaus* (2018, s. xvii). Seuraavaksi käydään läpi virtaustehokkuutta ja sen merkittävimpiä eroja resurssitehokkuuteen.



Kuva 3. Tehokkuusmatriisi (mukailen Modig et al. 2018, s. 100-105)

Miksi resurssitehokkuus pitää sitten kyseenalaista ja tutustua virtaustehokkuuteen? Lähestytään asiaa tehokkuusmatriisin avulla, joka on esitetty kuvassa 3. Siirryttäessä kuvassa vasemmalta oikealle, tuotteen läpimenoaika lyhenee. Siirryttäessä kuvassa alhaalta

ylöspäin saavutetaan parempi resurssien hyödyntäminen. Kuvassa on esitetty neljä aluetta, joihin yritys voidaan sijoittaa. Joutomaassa ei yksikään yritys halua olla, sekä resurssit että virtausyksiköt seisovat. Tavoitteena on päästä ihannemaan ”tähteen”, jossa sekä virtaustehokkuus että resurssitehokkuus ovat korkealla tasolla. Ihannemaasta on kuitenkin rajattu osa pois, koska käytännössä tätä tavoitetta ei voida saavuttaa (ja aina voi olla jotain parannettavaa). Ensinnäkin tulisi tietää asiakkaiden nykyiset ja tulevat näkyvät. Toiseksi vaadittaisiin todella korkeaa resurssijoustavuutta. Tähteä ei saavuteta, koska järjestelmässä syntyy vaihtelua. Asiakkaan synnyttämää vaihtelua on esimerkiksi: mitä tarvitaan, milloin tarvitaan ja kuinka paljon tarvitaan? (Modig et al. 2018, s. 103). Resurssitehokkaassa toimintaympäristössä tavoitellaan 100% käyttöastetta. Tällä kuitenkin lisätään järjestelmän aiheuttamia kustannuksia, vähennetään tehokkuutta ja lopputuloksena aiheutetaan systeemin romahtaminen. Lisäämällä järjestelmän käyttöastetta voidaan moninkertaistaa läpimenoaika. (Karjalainen 2013).



Kuva 4. Kingmanin kaavan soveltaminen (Six Sigma 2018)

Kuvassa 4 esitellään vielä toisesta näkökulmasta virtaus- ja resurssitehokkuuden välinen yhteys. Kuvassa 4 esitettyjä kirjaimia voidaan verrata kuvan 3 alueisiin: A-ihannemaa, B-tehokkuuden meri, C-tehokkuussarakkeita ja D-joutomaa. Kuvasta 4 huomataan, että resurssien käyttöastetta nostamalla, läpimenoaika kasvaa. Sinisellä kuvaajalla 15% käyttöasteen nosto välillä 65-80% aiheuttaa läpimenoajan kaksinkertaistumisen. Puolestaan vihreän kuvaajan tapauksessa käyttöasteen nosto 80 prosentista 95 prosenttiin aiheuttaa läpimenoajan nelinkertaistumisen. Punaisen kuvaajan tapaus on tehottomin niin virtaus- kuin resurssitehokkaassa mielessä. Vihreä tapaus on puolestaan tehokkain molemmissa näkökulmissa. Toivottua olisi päästä resurssi- ja virtaustehokkuuden maksimiin. Tämä ei

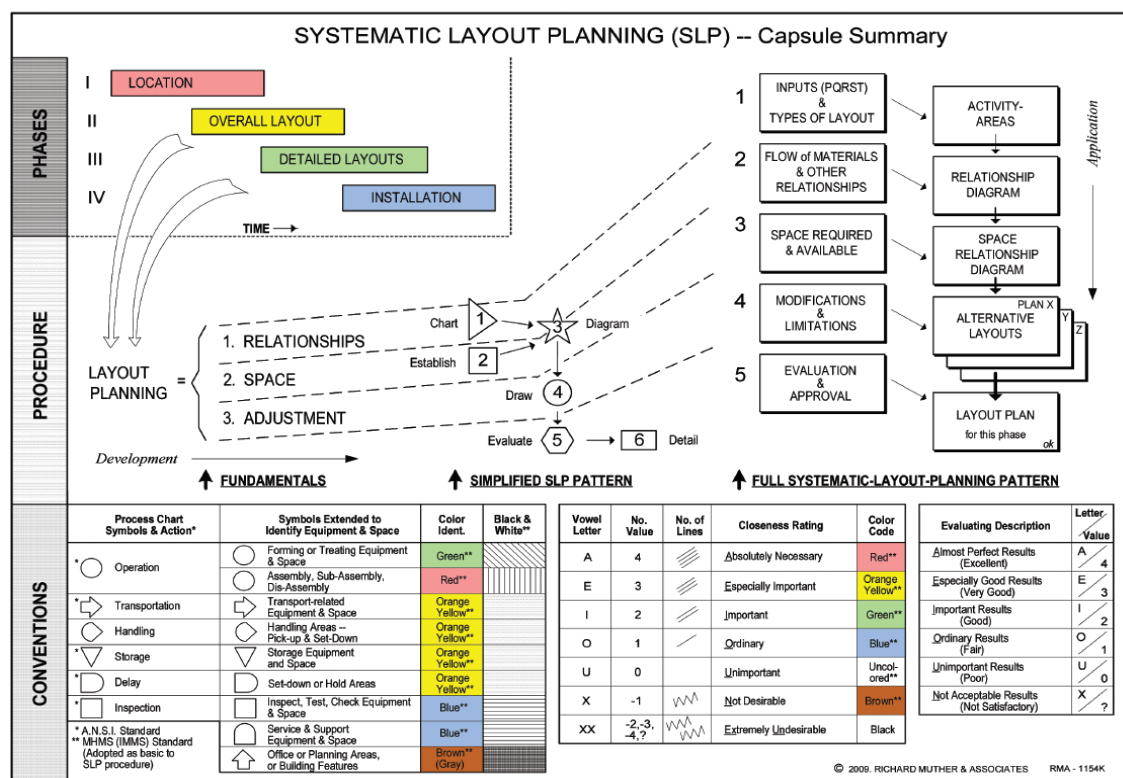
kuitenkaan ole mahdollista johtuen jo aiemminkin esitetystä vaihtelusta. Huomataan kuitenkin, että jo 65-80% käyttöasteella läpimenoajoissa on huomattavia eroja kuvaajien välillä.

Mikäli tuotantoa halutaan muuttaa virtaustehokkaammaksi, tulee ensin ymmärtää määritteleviä tekijöitä, lakeja. Modig ja Åhlström esittelevät kolme lakia prosessin läpimenoajan nousemisen johtumiselle (2018, s. 44): Littlen laki, pullonkaulojen laki ja vaihtelun laki. Kaikki nämä pidentävät prosessin läpimenoaika, jota voidaan pitää virtaustehokkuuden tärkeimpänä mittarina. Nämä kolme lakia myös aiheuttavat sen, että virtaus- ja resurssitehokkuuden samanaikainen maksimi ei ole mahdollista. Virtaus- ja resurssitehokkuuden välinen suhde ja tekijät ovat avainasemassa tuotannon todellisen tehokkuuden näkökannalta. Kumman tahansa maksimaallinen tavoittelu on strateginen päätös. Olenainen kysymys onkin, halutaanko tehdä paljon vai nopeasti? LeanMES -raportin mukaan muutama suomalainen alihankintayritys näkee tärkeänä läpimenoajan pienentämisen, mutta haluaa kuitenkin pitää eräkoot suurina (Järvenpää et al. 2014, s. 27). Edellä esitetyn perusteella tämänkaltainen ajattelu on kuitenkin hyvin haasteellista.

### 3. TEOLLISUUSLAITOKSEN LAYOUT SUUNNITTELU

Valmistavan tuotannon layout suunnittelussa otetaan kantaa koneiden ja laitteiden fyysiseen sijaantiin tehtaissa. Lopputuloksena layout määrittelee, miten tuotanto liikkuu tehtaassa. Tätä liikehdintää voidaan kutsua materiaalivirraksi. Materiaalivirta määrittelee hyvin paljon tuotannon toimivuutta. Materiaalivirran tulee vastata siitä, että osat siirtyvät oikealle paikalleen, oikeana ajankohtana. Materiaalivirran toimivuus (tai toimimattomuus) vastaa näihin kysymyksiin. Tässä luvussa esitellään layoutsuunnitteluun liittyviä tekijöitä.

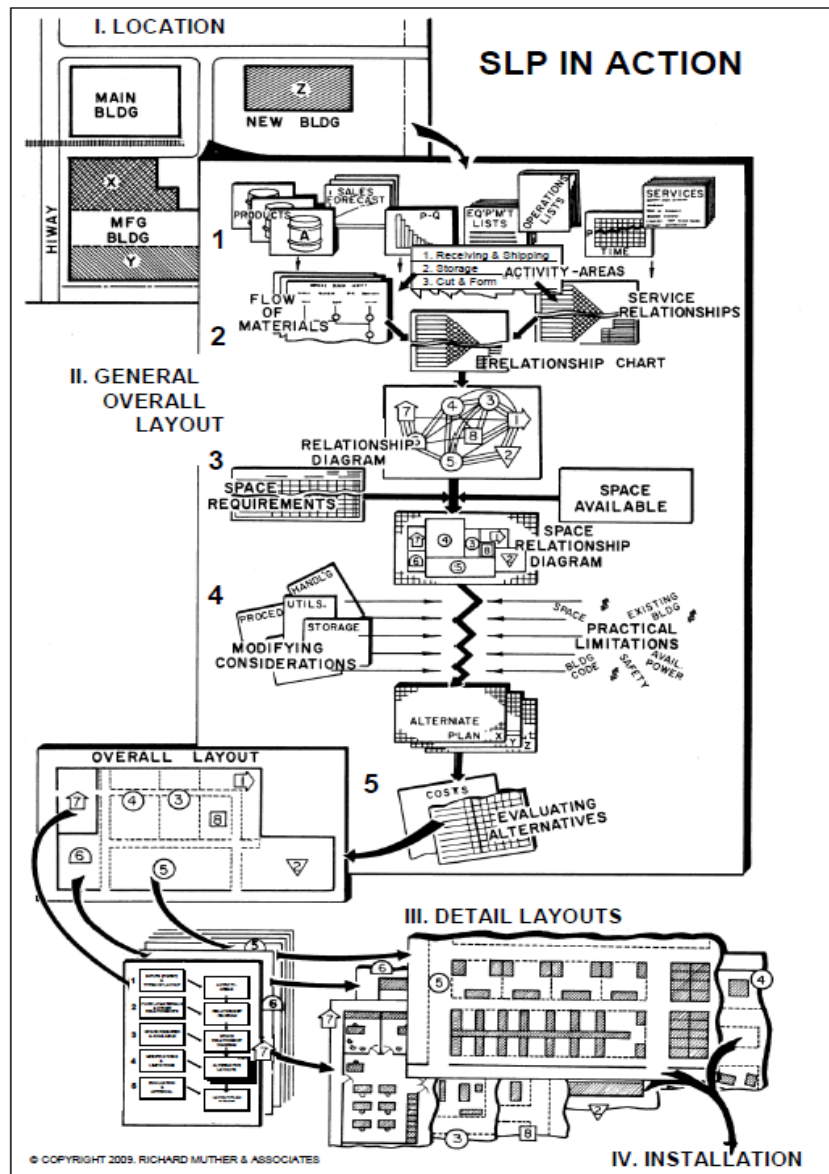
Richard Mutherin teoksessa Systematic Layout Planning (SLP, 2015) esitellään laajasti layoutin suunnittelua ja layoutprojektin läpivientiä. Teoksessa esitellään systemaattisen layoutin suunnittelun malli, joka koostuu karkeasti neljästä eri vaiheesta: 1. sijainti, 2. yleinen kokonaislayout, 3. tarkka layout, 4. asennus. Kuvassa 5 on esitetty SLP:n prosessikaavio tiivistettynä.



Kuva 5. SLP - tiivistettynä (Muther 2015, s. 416)

Johtavat lean, kaizen ja Six Sigma asiantuntijat ovat todenneet SLP tehokkaaksi tavaksi layout -projektin läpivientiin (Muther 2015, s. 299). Aiemmassa luvussa esiteltyjen lean

-tekijöiden myötä voidaan tutustua SLP:hen hieman tarkemmin. SLP:n mukainen layoutin suunnittelumalli on esitetty kuvassa 6. Ensimmäisenä vaiheena on tilan kartoittaminen (location). Toisena vaiheena on yleislayout (general overall layout), johon kuuluu huomattava määrä lähtötietojen, kuten myynnin, tuotteiden, operaatioiden ja palvelujen tietoja. Näiden avulla voidaan kartoittaa materiaa livirta ja palveluiden väliset riippuvuudet. Lopputuloksena on yleisiä layoutsuunnitelmia. Kolmas vaihe on tarkat layoutsuunnitelmat (detail layouts), jonka suunnittelu tapahtuu työpistetasolla. SLP:n neliportaisen layoutprojektin viimeinen vaihe on asennus (installation).



Kuva 6. SLP – prosessikaavio (Muther 2015, s. 33)

Layout -suunnittelun ”avaimena”, ja tärkeimpänä analysoitavana asiana, SLP esittää PQRST – tiedot. P - product edustaa tuotetta tai materiaalia ja suunnittelijan tulee selvittää, että mitä tuotetaan? Q - quantity on määrän ja volyymin tekijä, eli tarvitaan tietoa



tuotantomääristä. R – routing, varten tulee selvittää, miten tuotteet tehdään ja mitä tarvikkeita tarvitaan valmistusta varten. Tarvitaan vielä tietoa tukevista palveluista (S - service), joilla pyritään selventämään, millä tuotanto on tuettu tai avustettu. Viimeisenä lähtötietona tarvitaan tietoa ajasta, jolloin halutaan valmistaa (T - time). Näiden tekijöiden tulee vastata kysymykseen, miksi tehdään. Kun nämä lähtötiedot on analysoitu, voidaan layoutin suunnitteluprosessi aloittaa. (Muther 2015).

**Taulukko 3. SLP eri vaiheiden tekijöitä ja päämääriä (mukailen Muther 2015, s. 38)**

	<b>Avaindokumentti, MTD</b>	<b>Muut potentiaaliset hyödylliset dokumentit. Tee jos hyötyä</b>	<b>Ulostulon muoto</b>
<b>1. Aktiviteetit</b>	Tuote – määrä analyysi	- T – M data taulukko - Jakautuvien tai yhdistävien tekijöiden tarkastuslista	Lista aktiviteettialueista
<b>2. Suhteet, riippuvuudet</b>	Rippuvuuskartta	- Toimintojen prosessikaavio - Tuotteiden prosessikaavio - Mistä – mihin kaavio - Yhteyksien, suhteiden tutkimus	Aktiviteettien riippuvuus tai virtaus diagrammi
<b>3. Tila</b>	Aktiviteettialueet ja ominaisuuksien taulukko	- Nykyisellään käytetyn tilan tutkiminen - Koneistus ja laitteet, tila ja piirteet kaavio - Layout -vaatimusten tiedot - Tilavaatimukset – muunnos	Tilan riippuvuuksien diagrammi
<b>4. Sääto</b>	Blockilayout piirustukset	- Skaalatut ja viivoitetut pohjat aktiviteettialueista	Vaihtoehtoiset layoutit
<b>5. Arviointi</b>	Vaihtoehtojen arviointi	- Kustannusarviot ja vertailu	Valittu kokonaislayout

Taulukossa 3 on esitetty tarkemmin SLP:n mukaisia lähtötietojen tekijöitä projektin kronologisessa järjestyksessä. Taulukon 3 asioita selvitetään myöhemmissä luvuissa. Edellä esitettyjen kuvien ja taulukon perusteella voidaan kuitenkin helposti todeta, että layoutin suunnittelu on huomattavan laaja projekti. Layoutin suunnittelun tavoitteena voidaan pitää seuraavina: materiaalin käsittelyn minimointi, joustavuuden ylläpitäminen, edistää työn tehokkuutta, pitää varustelukustannukset matalana, hyödyntää lattia-alaa taloudellisesti, tarjota työvoiman tehokas hyödyntäminen ja tarjota työntekijöille turvallisen paikan työskennellä (Muther 2015, s. 15)

### 3.1 Layoutiin vaikuttavia tekijöitä

Layoutsuunnittelussa on otettava huomioon useita eri tekijöitä. Seuraavaksi esitetään Chandin (2018) esittämiä tekijöitä. **Ihmiset** ovat layoutin käyttäjiä, työntekijöitä, jotka suorittavat tuotantotehtäviä layoutissa. Tekijänä ihminen tulee huomioida monesta eri näkökulmasta, kuten työergonomia, työskentelyturvallisuus, siirtymiset, sosiaalityilat, leimauskoneiden sijainti. Layoutin tulisi tehdä ihmisen näkökulmasta työstä turvallista, tehokasta ja mielekästä. Layoutin ei tulisi olla riippuvainen työntekijän ammattitaidosta. Toisin sanoen työpisteen tulee antaa edellytykset työtehtävien mahdollisimman tehokkaalle suorittamiselle riippumatta työntekijän ammattitaidosta.

**Materiaali** tarkoittaa käsitteleviä asioita layoutissa, kuten työkappaleita, työpisteiden layouttia, kuormalavoja yms. Materiaali voi myös olla sähköistä, jolloin se ei suoraan ole layoutin tekijä. Kuitenkin työpisteiden sijoittelulla voi olla vaikutusta esimerkiksi yhteisten näyttötaulujen näkyvyyteen, joista voidaan seurata tuotannon mittareita. Myös työohjeet voivat olla sähköisinä, jolloin tietokoneen tai mobililaitteen tulisi olla lähellä työpistettä.

**Koneiden ja laitteiden** sijoittelua tulee suunnitella huolella, koska virheellisestä sijaintisuunnittelusta voi syntyä suuria kuluja. Suuret koneet tarvitsevat usein perustuksia, kuten konepetejä tai muita rakennustöitä, joilla turvataan koneen ja sitä ympäröivien koneiden toiminta. Koneiden sijoittelussa on myös keskeistä huomioida, mitä valmistetaan ja millä tuotantostrategialla? Myöhemmin esiteltävät esimerkkilayout -mallit, kuten linja tai funktionaalinen layout, voivat olla hyvinkin erilaisia koneiden sijaintisuunnittelun suhteen.

**Siirtojen** lukumäärän tulisi olla mahdollisimman pieni, koska jo aiemmassa luvussa tämä esitettiin hukkana, joka ei tuota arvoa tuotteelle. Layout suunnittelussa voidaan vaikuttaa siirtojen lukumäärään erilaisilla tavoilla. Näitä tapoja ovat esimerkiksi varastojen sijainnit, koneiden sijainnit, puskurivaraston paikka. Kuitenkaan pelkästään layoutsuunnittelulla ei saada eliminoidua siirtoja, vaikkakin manuaalista, ihmistä vaativia siirtoja voidaan minimoida todella paljon automatisoinnin avulla. Siirtoihin vaikuttaa huomattavasti myös tuotantosunnitelma, tuotteet ja eräkoot. Nostot voidaan laskea myös siirtoihin ja näihin voidaan vaikuttaa layoutin kautta esimerkiksi nostureiden sijainneilla ja nosturiratkaisulla.

**Odottaminen** on toinen layoutin kautta syntyvä hukan muoto. Odottamista voidaan toisaalta pitää myös edellä esitettävien summana. Esimerkiksi jos työpisteellä tarvitaan trukkia, mutta osaston ainoa trukki on varattu (ja sitä odotellaan), onko layout viallinen? Kysymykseen voidaan vastata ainakin seuraavista näkökulmista: layout on viallinen, koska se mahdollisti materiaalien kasautumisen käytävälle työpisteiltä, joka on tukossa, eikä sitä saada auki ilman trukkia. Tämä on sisälogistiikan (layout ongelma) ja resurssienhallinnan (ei-niin layout ongelma) haaste. Trukkeja voisi olla osastolla enemmän kuin yksi ja näin ollen ongelma olisi mahdollisesti ratkaistu, eikä työntekijän tarvitsisi odotella

trukkia. Toinen odoteltava voi olla nosturi. Mikäli työpisteellä tarvitaan nosturia, joka on toisella pisteellä varattuna, työ joutuu odottelemaan. Jos muualla olisi tarvittava nosturi, tarvittavalla kapasiteetilla ja vähemmällä käytöllä, olisi tämä hyvä siirtää lähelle ”odottelevaa” työpistettä.

**Palveluilla** tarkoitetaan työnteon onnistumisen kannalta olennaisia asioita, kuten paineilmaa, sähköjä, suojakaasua, vesipiste, valaistus, ilmanvaihto jne. Nämä ovat asioita, jotka tulee ottaa huomioon, mutta jäävät helposti vähemmälle huomiolle. Kun työpistettä käännetään 90 astetta, voidaan saada jo huomattavia haasteita palveluiden onnistumiselle. Esimerkiksi sähköjen pistorasiat voivat nyt olla aivan toisessa päässä työpistettä ja näin ollen tarvitaan mahdollisesti jatkojohtoja. Tämä taas voi kasaantua lattialle ja aiheuttaa näin ollen häiriötä työturvallisuuden suhteen, kompastumisvaaran muodossa. Erilaisissa töissä tarvittava valaistus on myös hyvä huomioida työntekijöiden jaksamisen ja työn laadun näkökulmasta.

**Rakennukset** luovat layoutille fyysiset rajoitteet, mikäli ei ole tarkoitus tehdä laajennuksia tuotantotiloihin. Rakennukset voivat luoda huomattavia rajoitteita erilaisille layout vaihtoehdoille. Rakennukset rajaavat pinta-alan lisäksi esimerkiksi tilojen korkeuden. Myös rakennuksen rakenteet, kuten pilarit ja muut fyysiset esteet, voivat aiheuttaa layout suunnittelussa haasteita. Mikäli halli on useammassa kerroksessa voi ongelmia syntyä esimerkiksi koneiden perustusten tai kuorman sijoittamisesta alakerroksen päälle ylemmässä kerroksessa. Rakennukset vaikuttavat myös vahvasti odotteluihin ja siirtoihin, mikäli raaka-aine varastot sijaitsevat omassa rakennuksessa, kaukana koneilta.

**Joustavuutta** voidaan helposti pitää layoutilta toivottavana asiana. Tehtaissa ja tuotantolaitoksissa tehtävät työt voivat vaihtua usein ja näin ollen myös layoutin tulee mahdollistaa erilaisten töiden tekeminen työpisteillä. Ennustaminen on haasteellista yrityksille, koska (ikinä) ei voida tietää asiakkaan käyttäytymistä. Nyt valmistettavat tuotteet voivat olla hyvinkin erilaisia, kuin 1-5 vuoden päästä valmistettavat. Kuitenkin kyseisiä töitä pitää pystyä tekemään, jotta voidaan pysyä kilpailukykyisinä. Layout muutokset voivat myös olla yrityksille hyvinkin kalliita ja vaativat suunnittelua ja paljon aikaa. Liian usein ei siis layouttiakaan kannata uusia. Voidaan siis melko helposti todeta, että joustavuus on layoutin merkittävä tekijä.

Layout -suunnittelun tavoitteena on optimoida nykyistä layouttia vastaamaan markkinoiden jatkuvasti muuttuvia vaatimuksia (Immer 1950). Toki voidaan pitää myös täysin uuden tuotannon layoutin suunnittelemisen tavoitteena. Tarvetta muuntautua ja olla joustava, voidaan pitää tärkeänä tekijänä teollisuusyrityksille. Toisen näkökulman layoutin tavoitteisiin esittää Muther (2015, s. 15), jonka mukaan materiaalin käsittely, kuljetusmatkat ja -aika tulee minimoida. Muther myös toteaa, että joustavuus tulee säilyttää, sekä käytettävissä olevaa tilaa tulee hyödyntää taloudellisesti, kuitenkin turvallisuutta unoh-

tamatta. Edellä esitettiin päätekijöitä layoutin suunnittelulle. Tekijöitä on kuitenkin merkittävästi enemmän. Seuraavaksi esitellään lisää merkittäviä tekijöitä, jotka tulee kartoittaa layout -suunnittelussa.

SLP:n mukaiset layoutin tekijät (Muther 2015, s. 369-374):

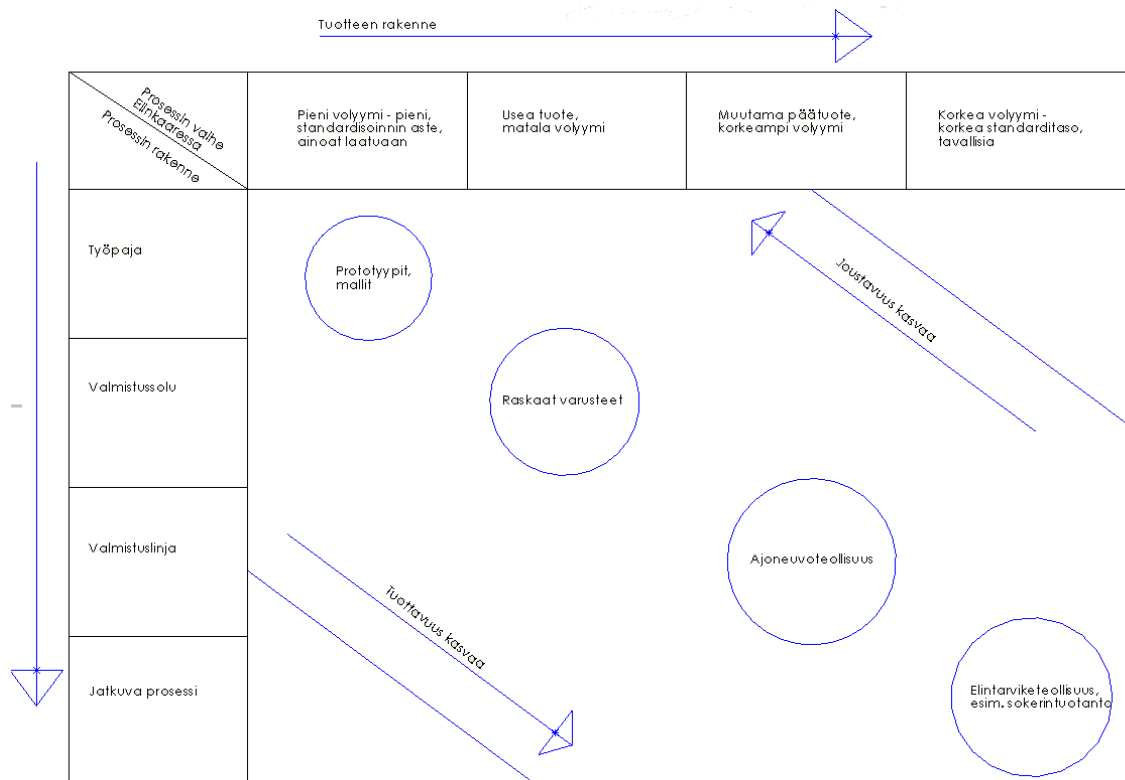
- laajennettavuus
- sopeutumiskyky ja monipuolisuus
- joustavuus
- virtauksen tai liikkeen tehokkuus
- materiaalin käsittelyn tehokkuus
- varaston tehokkuus
- tilan hyödyntäminen
- tukitoimien integroimisen tehokkuus
- turvallisuus ja siisteys
- työolot ja työntekijöiden tyytyväisyys
- valvonnan ja tuotannonohjauksen helppous
- vaikutelma asiakkaan näkökulmasta
- tuotteen tai materiaalin laatu
- huollon haasteet ja huomioinen → huollettavuus
- sopivuus yrityksen organisaatorakenteeseen
- varusteiden ja laitteiden hyödyntäminen
- tehtaan turvallisuus ja varkaudet
- luonnonilmiöiden, rakennusten ja ympäristön huomioinen
- kyky täyttää kapasiteettivaatimukset
- yhteensopivuus yrityksen pitkän tähtäimen suunnitelmien ja strategioiden kanssa

Huomataan, että layoutin suunnittelu on monipuolinen prosessi ja huomioitavia näkökulmia on useita. Layoutin tulee olla toimiva niin työntekijän, yrityksen, kuin asiakkaan näkökulmasta. Työntekijän tarpeita ovat esimerkiksi turvallisuus, siisteys, varusteet, tilan hyödyntäminen. Työnjohdon ja yrityksen näkökulmasta korkealle voidaan asettaa laatua, kapasiteettivaatimuksia, yhteensopivuutta strategioiden kanssa ja tuotannonohjausta. Asiakkaalle tärkeänä voidaan niin ikään pitää laatua, mutta myös vaikutelmaa. Lista on huomattavasti laajempi, kuin aiemmin esitetyt Chandin tekijät.

### 3.2 Eri layout vaihtoehtoja

Miten koneet ja työpisteet sijaitsevat lattiatasolla on suuri vaikutus layoutin lopputulokseen ja siten materiaalivirtaan. Voidaan helposti todeta, että koneiden materiaalivirtojen ollessa paljonkin ristiin syntyy solmukohtia ja ruuhkia tuotantoon. Lisäksi ”villi-länsi” ajattelu voi pahimmillaan aiheuttaa sen, että osat ja kappaleet hukkuvat väärin paikkoihin

ja niiden etsimiseen saadaan kulumaan aikaa. Layout -vaihtoehtoihin vaikuttaa oleellisesti, mitä ollaan valmistamassa ja kuinka paljon. Onnistuneen layoutmallin valintaan vaikuttaa siis olennaisesti hyvin toteutettu tuotantoanalyysi. Erilaisille tuotteille sopivat erilaiset tuotantojärjestelmät ja layoutit. Seuraavaksi esitellään lyhyesti erilaisia yleisiä layoutmalleja. Kuvassa 7 on esitetty prosessin ja tuotteen rakenteen vaikutusta soveltuvimman layout -tyypin valintaan.



Kuva 7. Erilaisia tuotantojärjestelmiä (mukailen Hayes 1979)

Siirryttäessä pystyakselilla alaspäin, tuotevarianttien määrä laskee. Samalla tuotannon joustavuus laskee, koska tuotantojärjestelmä on ensisijaisesti suunniteltu valmistamaan pienempää variaatiomäärää, mutta suuria volyymeja tiettyjä määriä. Vastaavasti, kun liikutaan vaak-akselilla oikealle, tuotannon volyymit kasvavat. Kuvassa näkyvät kolmiot, pitävät sisällään alueen, jonne pääseminen on hyvin haasteellista. Kyseessä on jatkuvalla tuotantoprosessilla valmistettavat pienen volyymin tuotteet, jotka voivat olla hyvin kompleksisia. Vastaavasti toisessa kulmassa on korkean standarditason tuotteet, joita pyritään valmistamaan funktionaalisessa työpajassa. Seuraavaksi käytävissä layoutmalleissa käydään läpi myös, miksi nämä kaksi eivät toimi tuotannossa.

### Tuotantolinja

Esimerkiksi autotehtaissa auton runko voi kulkea linjaa pitkin ja työpisteet / kokoonpanopaikat ovat linjan ympärillä. Tuote kulkee tietyllä nopeudella linjaa pitkin ja tarvitta-

essa pysähtyy työpisteille. Linjamallissa työpisteen ovat välittömästi toisensa perässä, tarkoittaen aina seuraavaa jatkojalostusvaihetta. Linjamalli soveltuu hyvin tuotteille, joilla on pienet variaatiot, mutta suuret volyymit. Haasteena tuotantolinjalle on mahdollisesti suuri tilantarve peräkkäisten työpisteiden johdosta. Materiaalivirran kannalta yksisuuntaisuus voi olla melko helposti toteutettavissa. Huomioitavaa tuotantolinjassa on, että tuotteen vaatimat valmistusmenetelmät ovat ketjutettuna peräkkäin (Haverila et al. 2009, s. 475).

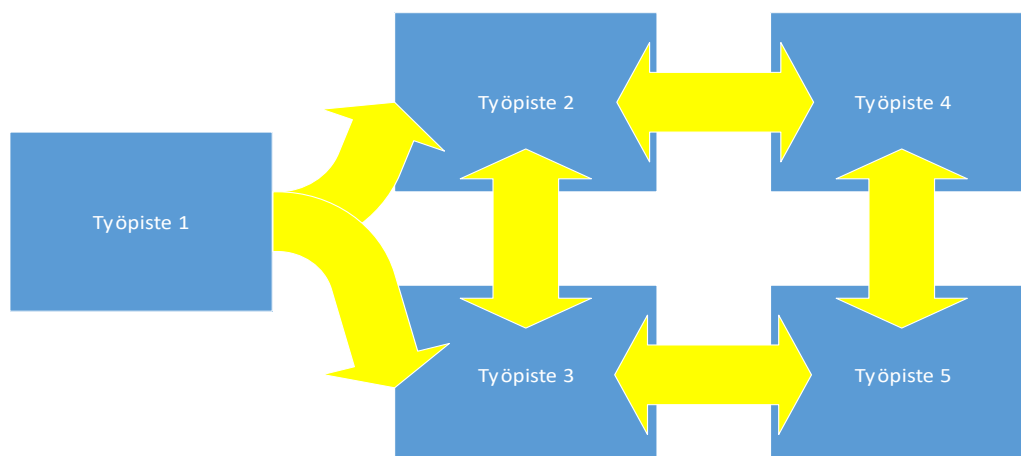


Kuva 8. *Linjamalli*

Kuvassa 8 on esitetty linjamalli, eli tuotteen tekemiseen liittyvät työvaiheet ovat linkitetynä toisiinsa suoran linjan tapaan. Seuraavana työvaiheena on aina tarvittava tuotantomenetelmä.

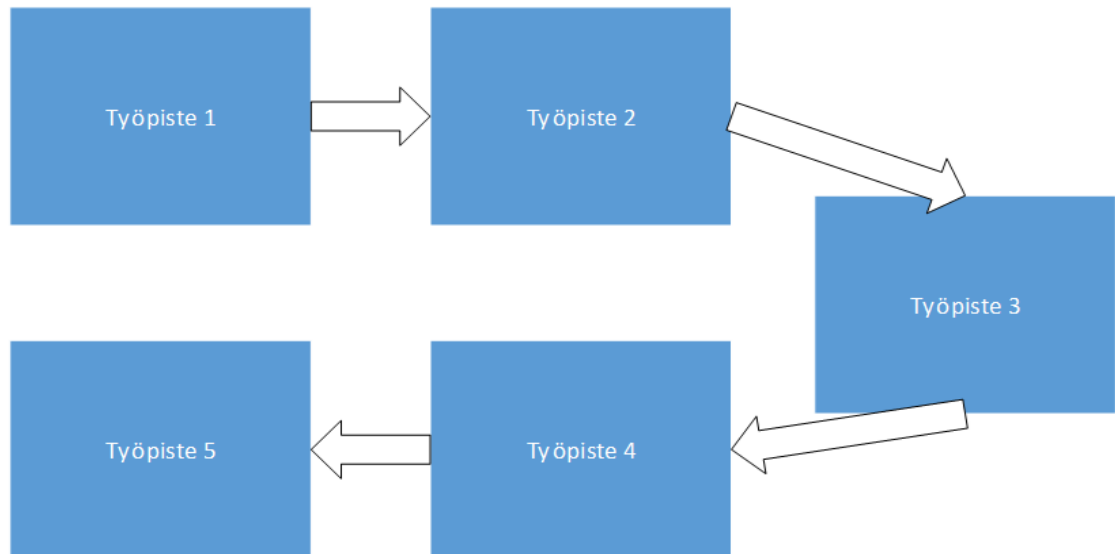
### **Funktionaalinen layout**

Funktionaalinen layout kerää saman valmistusmenetelmän koneet ja resurssit samoihin osastoihin. Funktionaalista layouttia voidaan pitää lähimpänä osastoajattelua. Kuvassa 9 on esitetty periaatepiirros funktionaalisesta layoutista.



Kuva 9. *Funktionaalinen layoutmalli*

Funktionaalinen layout koostuu siis samojen valmistusmenetelmien ryhmittymistä. Tämän etuna voidaan pitää suurempaa joustavuutta, kuin tuotantolinjalla, mutta ei sovellu aivan yhtä suurille volyymeille. Funktionaalinen layout on toimivin, kun erilaisia tuotteita on paljon ja niiden valmistusmenetelmät poikkeavat toisistaan (Haverila et al. 476).



Kuva 10. *Solulayout*

Esitellään vielä yksi layoutmalli **tuotantosolu**. Tuotantosolulle tyypillistä on työpisteiden läheisyyden lisäksi niiden sijainnit esimerkiksi U-mallisessa solussa. Työvaiheet ovat peräkkäin ja operaattorin on tietyissä tapauksissa mahdollista operoida useampaa konetta samanaikaisesti tai työntekijät voivat auttaa toisiaan helpommin (Muther 2015, s. 213). Kuvassa 10 on esitetty tuotantosolu.





myös merkitty ovien sijainnit. Osavalmistus 2 ja levyvarasto ovat oranssilla, joka tässä yhteydessä tarkoittaa, että nämä osastot ovat 2.kerroksia, eli näiden alapuolella on tiloja. Nämä alueet ovat turvallisuussyistä poissuljettuja, koska työstökoneen asentaminen näille alueille saattaisi aiheuttaa kerroksen romahtamisen työstökoneen painosta (50 t) ja töiden aikaisista värinöistä johtuen. Kuvan vasemmassa yläreunassa näkyvä turkoosi alue on lähettämön sijainti. Muut osavalmistuspuolilla näkyvät kohteet ovat koneiden, työpisteiden tai hyllyjen ääriviivoja.

Koneelle pitää varata tilaa materiaalin käsittelylle ja työjonolle. Korkeutta työstökoneella on 5,4 metriä. Korkeus asettaakin hieman rajoitteita, koska kahdessa matalammassa hitsausosastossa (2 ja 3) työstökone osuu sellaisenaan kattorakenteisiin. Työstökoneen upottaminen lattiapinnan alapuolelle on kuitenkin mahdollista, jolloin koneen etäisyyttä lattiatasoon nähden saadaan pienenettyä. Perustustyöt laajenevat kuitenkin huomattavasti, koneen upottamisen johdosta. Hitsausosastolla 1 kulkee osaston läpi siltanosturi, jonka puomin korkeus on 4,2 metrissä. Hitsausosastojen 2 ja 3 korkeus on myös 4,2 m, jolloin näitä kahta voidaan pitää ”matalina” osastoina, työstökoneen sijainnin näkökulmasta. Osavalmistuspuolella ei vastaavaa korkeushaastetta ole, mutta sijainti työstökoneella tehtävien töiden näkökulmasta ei olisi kaikkein optimaalisin. Osavalmistuspuolella olevia koneita pitäisi myös todennäköisesti siirtää, että työstökoneelle vaadittu tila saadaan toteutettua. Uuden työstökoneen sijainnin määrittäminen aloitti layout suunnitteluprojektin. Työstökoneen tilantarve aiheuttaisi molemmille osastoille (hitsaus ja osavalmistus) työpisteiden tai koneiden siirtoja. Tässä luvussa käsitellään sijainnin valintaprosessi, jonka jälkeen seuraavissa luvuissa keskitytään koneen sijainnista aiheutuviin layout muutoksiin.

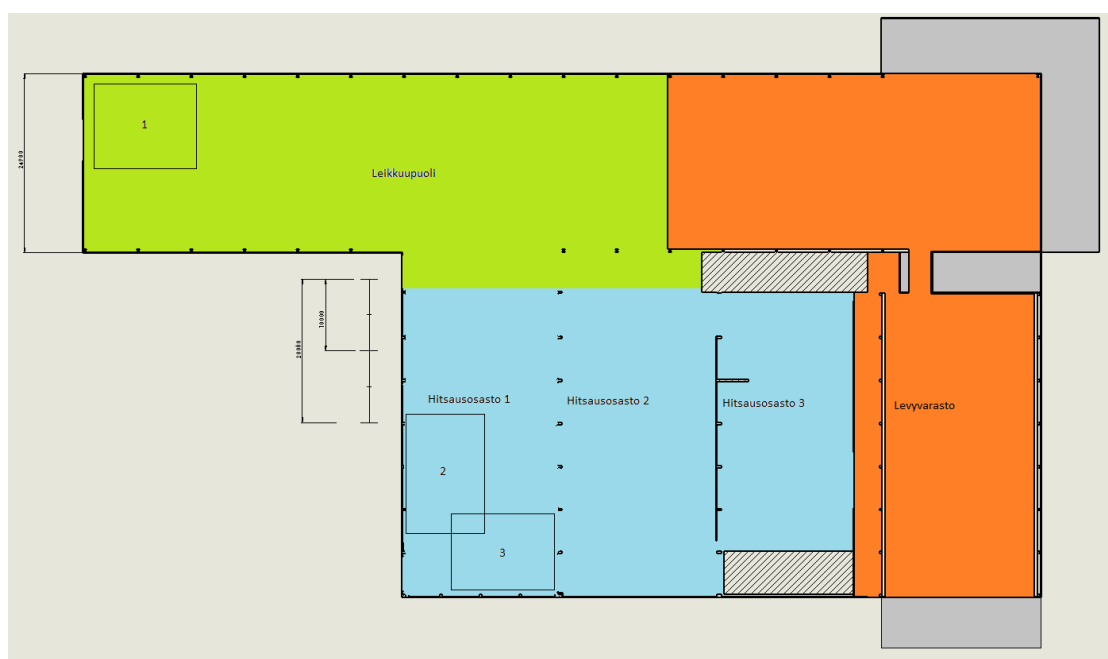
Aluksi tulee selvittää, minkälaisia töitä nykyisellä työstökoneella tehdään? Tehtävien töiden selvittämiseksi tutkittiin kohdeyrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä saatavia työjonoja vuoden ajalta. Nykyisellä koneistuskeskuksella on lähinnä koneistettu asiakkaan A tuotteen kokoonpanon osakokoonpanon eri variaatioita. Osat on lähetetty hitsaamisen jälkeen koneistettaviksi, jonka jälkeen osat on lähetetty takaisin hitsausosastolle hitsauskokoonpanoa varten. Asiakkaan A tuotteella on myös suuri volyymi, eli siirtoja tehtaan ja työstökoneen välillä on paljon. Tästä johtuen koneistukseen lähtevien tuotteiden eräkoot on myös pidetty suurina. Virtaustehokkaan layoutin tukemiseksi tulisi työstökoneen sijaita mahdollisimman lähellä hitsausosastoa, kuljetusten ja siirtymien eliminoimiseksi. Tuotannossa on myös muita osia, jotka vaativat koneistusta, leikkuu- tai särmäysvaiheen jälkeen. Näin ollen tulisi siis olla myös helppo pääsy osilla, jotka eivät tule suoraan hitsausosastosta.

Seuraavaksi tässä luvussa käydään lyhyesti läpi työstökoneen sijainnin suunnittelussa käytyjä vaiheita. Työstökoneen sijainnin suunnittelua voidaan pitää myös tämän työn osalta merkittävänä tekijänä, koska koneen sijoittaminen nykyiseen layouttiin sellaiseen osoittautuisi mahdottomaksi. Eri sijaintivaihtoehtojen vertailemiseksi laadittiin va-

lintamatriisi, jossa eri vaihtoehdot pisteytettiin erilaisten tekijöiden avulla. Sijainnin valinnan jälkeen tässä luvussa esitellään hitsausosaston lähtötilanteen layout ja tuotantoa. Uuden layoutin suunnittelu alkaa siis jo tässä luvussa tuotannon selvittämisellä.

#### 4.1 Työstökoneen sijaantiin vaikuttavia tekijöitä ja vaihtoehdot

Rajoitteita työstökoneen sijainnille aiheutti koneen päämitat. Työstökone oli korkeuden puolesta mahdollista sijoittaa korkeimpaan hitsausosastoon (hitsausosasto 1) tai osavalmistuspäälle 1. Ilman muiden koneiden siirtoa, olisi työstökone mahdollista sijoittaa ainoastaan nykyisen lähettämön paikalle. Tällöin työstökone peittäisi nykyisen isojen levyjen ja lähettämön käytössä olevan kuljetusoven. Lähettämön sijainnin lisäksi tulisi siis pitkien levyjen kuljettaminen leikkuupuolelle suunnitella uudelleen. Työstökoneelle tulevat osat ovat tällä hetkellä yli 90 % hitsattuja kokoonpanoja ja näin ollen materiaalivirran kannalta leikkuupuolen sijainti on haastava. Kuvassa 12 on esitetty leikkuupuolelle suunniteltu työstökoneen sijainti, numerolla 1. Leikkauspuolen sijainnissa on etuna riittävä hallin korkeus sekä nosturikapasiteetti. Etuna voidaan pitää myös valmiina dokumentteina löytyneitä tarkastettuja maaperätutkimuksia. Sijainti on nykyisen lähettämön paikalla ja näin ollen koko lähettämö pitäisi siirtää pois työstökoneen tieltä. Sijainnin yksi vieressä on tehtaan suurimpia lasereita ja särmäyspuristin. Työstökoneen ensisijaiset työt ovat hitsauskokoonpanojen koneistuksia ja näin ollen sijainti on haasteellinen.



Kuva 12. Tuotanto-osastot ja ehdotetut työstökoneen sijainnit

Kuvassa 12 on merkitty hitsausosaston harkitut paikat numeroilla 2 ja 3. Työstökoneetta ei olisi mahdollista sijoittaa muihin hitsausosastoihin, johtuen riittämättömästä korkeudesta hallin kattoon nähden. Hitsausosaston vaihtoehdot olivat poikkeavat jo pelkästään koneen suunnan perusteella, toisistaan. Vaihtoehdossa 2 työstökone sijoitettiin keskelle

osastoa seinän suuntaisesti. Näin ollen pääsy osastossa sijaitsevalle ovelle olisi ollut tehokkaampaa. Vaihtoehdossa 3 puolestaan nosturin radan päädyn mukaisesti. Siltanosturin rata kulkee koko hitsausosaston 1 läpi, vaakasuoraan kuvaan 12 nähden. Oranssi väri kuvastaa levyvarastoja, sekä aluetta, jonka alapuolella on alempi kerros. Oranssille alueelle olisi näin ollen hyvin haasteellista, jopa mahdotonta, sijoittaa kone, joka tarvitsee perustukset. Lisäksi koneen upottamista lattiapinnan alapuolelle, työskentelyn helpottamiseksi, tuli harkita. Upottamisvaihtoehto olisi kokonaan poissuljettua oranssilla alueella. Harmaalla merkityt alueet ovat alempaa kerrosta, lastaussyvennyksiä. Lastaussyvennyksiin on pääsy myös ylemmästä kerroksesta. Levyvaraston ”alapuolella” olevassa syvennyksessä on myös hitsausosaston tuotannon tiloja.

Suunnitelmissa oli mukana myös neljäs vaihtoehto, jonka sijainti olisi ollut hallin T-risteyksessä, leikkuupuolen ylemmällä seinämällä. Tämä jätettiin kuitenkin vertailusta pois, koska muita koneita olisi pitänyt siirtää enemmän, kuin muissa vaihtoehdoissa. Keskellä hallia oleva sijainti, sekä oven läheisyys, olisivat voineet olla merkittäviä syitä harkita koneen sijoittamista hallin keskelle, mikäli ympärillä tehtävien töiden viimeinen vaihe olisi koneistus.

## 4.2 Sijainnin valinta

Valintaa tukemaan laadittiin valintamatriisi. Valintamatriisissa esitetään tekijä ja pisteytetään se vaihtoehtokohtaisesti. Pisteitä annetaan välillä 0-5 ja kertoimet valittiin myös välille 0-5. Lopuksi kertoimien tulot lasketaan yhteen ja summaksi saadaan sijainnin kokonaispisteet. Valintamatriisi on esitetty taulukossa 4. Koneen sijainti suunniteltiin ensisijaisesti yksisuuntaisen materiaalivirran näkökulmasta. Tilassa tulisi olla myös riittävästi muuta työskentelytilaa esimerkiksi kappaleiden käsittelylle. Koneen sijainnin tulisi myös olla sellainen, ettei muu materiaalivirta häiriinny sijainnista. Näin vältellään turhia siirteilyitä ja odottamisia. Myös koneen asennettavuutta voidaan pitää merkittävän tekijänä, ettei muu tuotanto keskeydy koneen perustus- ja asentamistöiden johdosta.

**Taulukko 4.** Työstökoneen sijainnin valintamatriisi

	Kerroin	Sijainti 1 osaval- mistus	Sijainti 2 hitsaus- osasto	Sijainti 3 hitsaus- osasto
Materiaalivirran huomioinen	5	5	15	20
Työjonon käsittelytila	4	8	16	12
Riski törmäykselle nosturin kanssa	4	20	8	12
Nosturikapasiteetti	3	15	9	9
Tilan joustavuus	3	6	9	6
Ovet	4	8	12	12
Trukin esteettömyys	4	12	8	12
Palvelut (sähkö, paineilma)	2	4	6	6
Muiden resurssien siirtotyöt	4	8	12	16

Asennuksen aikainen vaikutus muuhun tuotantoon	5	5	15	20
Perustustöiden laajuus	3	12	6	6
Summa		103	116	131

Materiaalivirran kannalta hitsausosastossa olevat sijainnit ovat parempia. Tähän syynä on koneistettavien kappaleiden työvaiheet. Sijainti 1 voisi soveltua paremmin, mikäli suurin

osa kappaleista tulisi suoraan leikkauksesta tai särmäyksestä. Ero hitsausosaston sijaintien välillä syntyy asiakkaan B tuotannon pysymisestä hitsausosastolla 1. Tämän huomioimiseen sijainti 3 pystyy paremmin ja asiakkaan B tuotanto on mahdollista pitää osastossa 1.

Kappaleiden vaatima käsittelylle tilaa on myös hitsausosastossa enemmän. Leikkuuosastossa muiden koneiden oleminen lähellä voi aiheuttaa haasteita. Sijainti 1 on suurimpien laserkoneiden ja särmäyspuristimien lähetyvillä, eli ympärillä liikkuu valmiiksi levyjä ja osia, joilla on myös suuri tilantarve nykyisellä tuotannonohjauksella. Hitsausosaston paikkojen erot syntyvät käytettävästä tilasta työstökoneen ympärillä.

Koneen hankinnassa merkittävää tarkkailua vaatii työstökoneen korkeus. Leikkuupuolella ei ole korkeusongelmaa ja näin ollen mahdollisuutta nosturilla törmäämiseen ei ole. Hitsausosaston vaihtoehtoissa törmäminen nosturin ja työstökoneen välillä on mahdollinen, vaikka työstökoneita upotettaisiin lattiapinnan alapuolelle useampi metri. Törmäysmahdollisuus voidaan kuitenkin ehkäistä estämällä nosturin liike mekaanisesti tai anturoinnilla, joka estää siltanosturin liikkeen työstökoneen päälle. Ero hitsausosaston pisteille syntyy siitä, että sijainnissa 2 voisi nykyisillä nostureilla osua työstökoneeseen kahdesta suunnasta. Tämä lisää myös turvalaitteiden säätämistä ja määrää. Lisäksi vaihtoehtodossa 2 pitää työstökoneelle hankkia täysin uusi nosturi, kun vastaavasti vaihtoehtoissa 1 ja 3 voidaan käyttää olemassa olevia nostureita.

Nykyiselle tuotannolle riittää, että nosturin kantokyky on vähintään 5 t. Molemmilla osastoilla päästään tähän. Koneistuskeskuksen pöydän kantokyky on kuitenkin 20 t, eli rasakaampiakin kappaleita voidaan koneistaa, nosturikapasiteetin salliessa. Leikkuupuolella on enimmäiskuorma 16 t, kun hitsausosaston nosturilla päästään juuri vaadittuun 5 tonniin.

Lähtökohtaisesti tilan joustavuutta voidaan kaikissa vaihtoehtoissa pitää heikkona, koska työstökoneen asentamisen jälkeen sen sijaintia on työlästä ja kallista vaihtaa. Työstökoneella on lähtökohtaisesti tarkoitus koneistaa suuria kappaleita, joka rajoittaa myös erilaisten pienten kokoonpanotöiden lisäämistä työstökoneen läheisyyteen.

Yksi merkittävä, myös materiaalivirtaan vaikuttava tekijä, on ovien sijainti. Ovia oli alun perin tarkoitus hyödyntää materiaalivirran näkökulmasta. Sijainti 1 peittäisi kaksi ovea,

isojen lasereiden levyjen sisääntulon sekä lähettämön trukkiliiikenteen oven. Tosin lähettämö siirtyisi pois työstökoneen tieltä esitetystä sijainnista. Työstökoneen ollessa sijainnissa 1, tulisi siis suunnitella uusi pitkien levyjen kulku isoille lasereille. Hitsausosaston vaihtoehtoista kumpikaan ei poistaisi ovia käytöstä. Kuitenkin kaikissa ovissa tulee huomioida lämpötilan vaihtelut ja tämän vaikutus työstökoneen toimintaan. Työstökoneella on tarkoitus koneistaa 6 metriä pitkiä kappaleita ja teräksen lämpölaajeneminen on  $11,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ , saadaan lämpölaajenemiseksi  $1^\circ\text{C}$  muutoksella ja 6 metrin matkalla 0,069 mm. Talvella sisä- ja ulkolämpötilojen erot voivat olla useita kymmeniä asteita. Tämä voi aiheuttaa suuriakin muutoksia mittatarkkuuksiin.

Materiaalin siirtotyöt suoritetaan trukeilla ja sijainnin suunnittelussa on hyvä ottaa huomioon myös trukin helppo pääsy työpisteelle. Näissä ei merkittäviä eroja ole eri vaihtoehtojen välillä. Jokaiselle mahdolliselle sijainnille pääsee trukilla hyvin. Muun trukkiliiikenteen osalta sijaintia 2 voidaan pitää hieman heikompana, koska työstökone sijaitsee keskellä osastoa ja työstökoneen latausalue saattaisi aiheuttaa häiriöitä trukkiliiikenteelle.

Palvelut ja tukitoimet sisältävät koneen käytölle välttämättömien asioiden huomioinnin. Näitä on esimerkiksi sähkövirran saatavuus, paineilman tulo, valaistus sekä ilmanvaihto. Myös koneen huollettavuus on tässä hyvä huomioida. Sähköverkon ja paineilman tulojen sijainti on lähimpänä sijaintia kolme ja sijaintiin 1 puolestaan tulisi kaapeloinneille pisin matka. Koneen sijainnit on suunniteltu niin, että välimatkat seiniin ovat vähintään 1,5 metriä ja näin ollen koneen ympärille pääsee suorittamaan huoltotehtäviä.

Sijainti 1 siirtäisi tieltään lähettämön, ja loisi painetta suurimman särmäyspuristimen kääntämiselle tai siirtämiselle. Kyseinen särmäyspuristin vaatisi myös uudet perustustyöt. Sijainti 2 muuttaisi koko hitsausosaston 3. rakennetta, koska käytännössä kaikkien hitsauspaikkojen sijaintia tulisi tarkastella uudelleen. Sijainti 3 puolestaan siirtää väistämättä hitsausosaston osavarastoja sekä muutaman työpisteen.

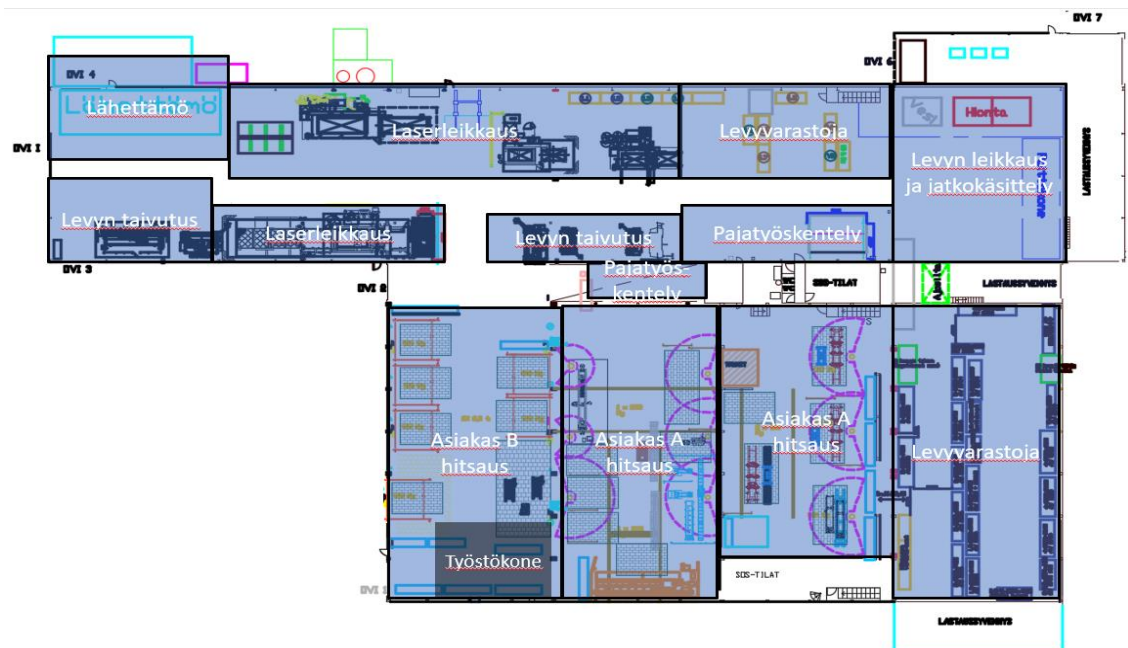
Asennettavuus on myös melko tärkeä kriteeri, koska perustuksiin ja asennustöihin voi mennä usea kuukausi, josta aiheutuu muulle tuotannolle raskaita. Asennettavuudesta sijainti 3 saa korkeimmat pisteet. Sijainti on osaston päädyssä, jossa ennen layout muutoksia on varastoja ja muutama hitsauspiste, voidaan lähtökohtaisesti pitää helpompana sijaintina, kuin laserleikkuukoneiden ja särmäyspuristimien läheisyyttä. Työstökoneen perustukset vaativat paaluttamista, jonka johdosta laserit pitäisi todennäköisesti olla pois käytöstä perustustöiden ajan. Näin välttyään paalutuksesta mahdollisesti aiheutuvasta värinästä koneita kohtaan. Vaihtoehtojen 1 ja 3 etuina voidaan tästä näkökulmasta kuitenkin pitää läheisyyttä oven, jolloin asentamiseen tarvittava varustus ja mahdollisesti syntyvä jäte voidaan helposti siirtää pois.

Sijaintivaihtoehtoista eniten pisteitä valintamatriisissa saavutti sijainti 3, jonka suurimpina etuina on sijainti materiaalivirta huomioiden, asennettavuus ja nostinhaasteiden op-

timointi. Lopputuloksena työstökoneen alustavaksi sijainniksi valittiin sijainti 3. Näin ol-  
len tehtaan layout -projekti tulee keskittymään hitsausosaston muutokseen, työstökoneen  
sijainnista johtuen. Layout -projekti esitellään seuraavissa luvuissa alkaen hitsausosaston  
tuotannon esittelyllä.

### 4.3 Hitsausosaston tuotanto ja nykyinen layout

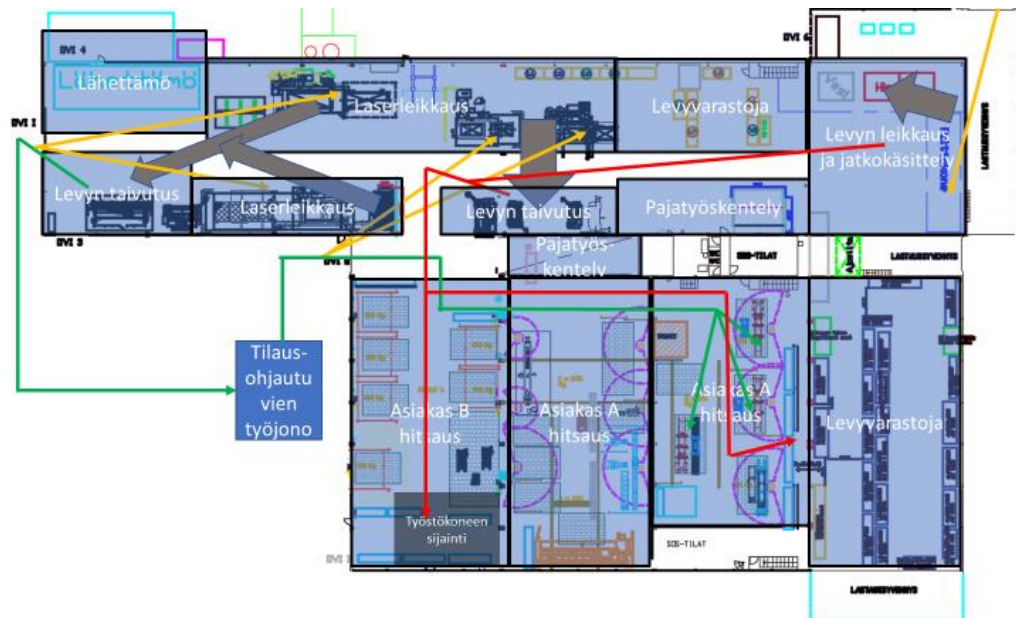
Tässä luvussa esitellään kohdeyrityksen tuotannon nykytilanne ja yleisellä tasolla tehtaan  
käytössä olevia valmistusmenetelmiä. Layout -suunnittelun kannalta on hyvin tärkeää,  
että alkutilanteen kartoitus on suoritettu laajasti ja kattavasti. Luvussa 3 esitettiin SLP:n  
näkökulmasta kartoitettavia asioita, joita oli mm. tehtaan työskentelytavat, osat, tilavaa-  
timukset ja käytettävissä oleva tila. Osana toimintatutkimusta on myös lähtötilanteen sel-  
vittäminen ja analysointi. Hitsausosaston nykytilaa selvitettiin havainnoilla tuotannon lat-  
tiasolla, sekä keskusteluilla tuotannon työntekijöiden ja työnjohdon kanssa. Layoutin  
nykytilanteen kartoittamisessa luotiin myös 3D malli. Malli luotiin olemassa olevien, van-  
hojen layout piirustusten pohjalta, jotka päivitettiin vastaamaan nykytilannetta. Lasermit-  
tauksen avulla malliin saatiin 3D mallia varten korkeustiedot, jotka 2D malleista puuttui-  
vat. Lopputuloksena oli visuaalinen malli hitsausosastosta ja sen tärkeimmistä raken-  
teista. Tämän luvun alalukujen tiedot perustuvat havaintoihin tuotannon lattiatasolla sekä  
keskusteluihin eri tehtävissä olevien työntekijöiden ja toimihenkilöiden kanssa.



Kuva 13. Tehtaan layout ennen muutoksia, työstökoneen sijainti huomioituna

Tehdas rakennettiin 80 -luvun alussa ja on laajentunut hiljalleen suuremmaksi. Tuotanto-  
tiloja lisättiin 80 -luvun lopussa ja ulkovarasto rakennettiin vuonna 1997. Siitä eteenpäin  
laajennuksia tiloihin ei ole suoritettu. Kuvassa 13 on esitetty tehtaan nykyinen layout.

Nykyisessä layoutissa on funktionaalisen layoutin piirteitä. Tämä ilmenee luvussa 3 esitetyn samanlaisten valmistustekniikoiden ryhmittymänä. Halli voidaan helposti jakaa kahteen osastoon, osavalmistus- ja hitsausosasto. Levyt saapuvat leikkuukoneille ovesta 1 tai ovesta 2. Jaottelu on tehty niin, että kaksi isompaa laseria saavat materiaalit ovesta 1. Ovesta 2 puolestaan kuljetetaan levyt pienemmille lasereille ja vesileikkaukseen. Levyt haetaan ulkovarastosta (ei merkittynä kuvassa), kuitenkin levypaloja voidaan säilyttää myös sisällä ja joitain materiaaleja on välttämätöntä säilyttää sisätiloissa. Ovi 2 toimii myös hitsausosaston materiaalivirran linkkinä ulos. Polttoleikkuukoneelle levyt toimitetaan ovesta 7 ja nostetaan lastausyvennyksestä polttokoneen työskentelypöydälle. Asiakkaan A osien tuotannon näkökulmasta merkittäviä ovat isot laserit, lähettämön vastainen levyn taivutin ja polttokone. Tilausohjattavista osista pisimmät leikataan isoilla lasereilla, jonka jälkeen leikkeet taivutetaan suuremmalla levyntaivuttimella. Tämän jälkeen taivutetut leikkeet siirretään ulkovarastoon odottamaan hitsausosaston tarvetta. Asiakkaan B osia voidaan valmistaa kaikilla osavalmistuksen koneilla, vesileikkuukonetta lukuun ottamatta.



Kuva 14. Asiakkaan A osien materiaalivirta osavalmistuspölella

Lisäämällä kuvaan 13 osien valmistusketjut, voidaan aloittaa materiaalivirran kartoittaminen. Kuvassa 14 on esitetty asiakkaan A osien materiaalivirtaa osavalmistuksessa. Keltainen nuoli tarkoittaa levyn siirtymistä leikkaukseen. Harmaa, paksumpi nuoli, tarkoittaa jatkojalostusvaiheen siirtymää. Vihreä on tilausohjautuvien osien siirtymät osavalmistuksesta hitsausosastoon ja punainen nuoli varasto-ohjattavien osien siirtyminen hitsausosastolle. Osien etsimiseen on saattanut kulua huomattavan paljon aikaa. Usein myös varasto-ohjautuvia osia on saattanut siirtyä lähettämöön, vaikka osien olisi kuulunut tulla toiseen hitsausosavarastoista (punaisten nuolten päätepisteet). Osavalmistuksen puolella on siis epäselvyyttä, mihin hitsaukseen meneviä osia kuuluu viedä. Osavalmistuspölella työ-

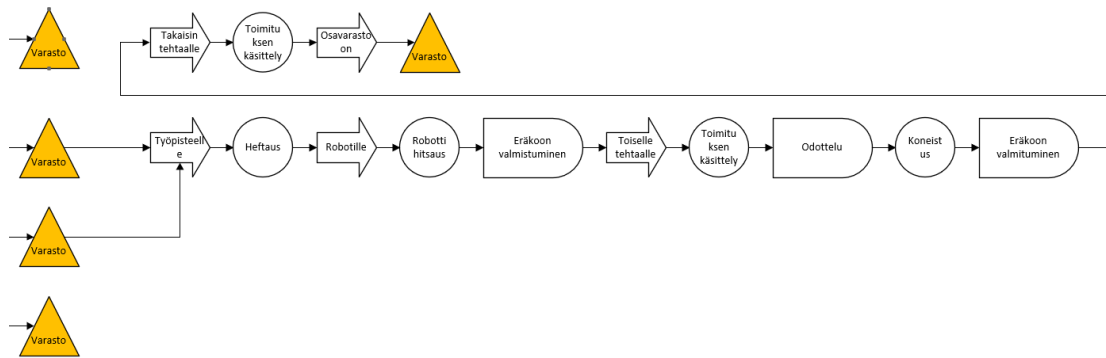
pisteiden työntekijät usein siirtävät itse valmiit osat seuraavaan työvaiheeseen. Hitsausosaston varastotyöntekijöillä on toiveena, että osille olisi oma ja selkeä paikka, johon osavalmistuksesta tuodaan osat. Sovitusta paikasta osat siirrettäisiin oikeaan varastopaikkaan. Kuitenkin tämänlaisella toiminnalla saataisiin aikaiseksi hukkaa ylimääräisten siirtojen ja työn uudelleen aloittamisen muodossa. Toisaalta myös osien etsimiseen käytetty aika on odotushukkaa. Yksi tapa voisi olla kirjoittaa osien mukana kulkevaan työmääräimeen osien varastopaikka. Varastopaikka pitää olla myös fyysisesti merkittynä tuotannossa. Tällöin osavalmistuksen tehnyt tai materiaalinkäsittelijä voisi viedä osat suoraan omalle varastopaikalleen. Tällä menetelmällä osien ”saapumispiste” ei vie tilaa muulta tuotannolta.

Kuten aiemmin on esitetty, hitsausosasto on jakautunut kolmeen eri lohkon/osastoon: heftaus (hitsausosasto 3), robottihitsaus (hitsausosasto 2) ja käsinhitsaus (hitsausosasto 1). Asiakkaan B osien, sekä muutaman muun työn, kokoonpano tapahtuu hitsausosastolla 1. Asiakkaan A osat liikkuvat heftauksesta robottihitsaukseen. Siirto osastojen välillä tapahtuu kärryllä. Heftauksen lähellä on osavarastot ja näin ollen jigien lähellä on saatavilla hitsattavia osia nopeasti. Heftausosasto ja robottihitsausosasto tekevät vain yhden tuotteen eri variaatioita. Näiden kappaleiden runko koostuu kahdesta osasta, jotka voivat pisimmillään olla noin 8,5 metriä pitkiä. Kyseiset osat ovat tilausohjautuvia, joiden tarve tiedetään tarkasti ja säilötään tarvittaessa ulkotiloissa kuvan 17 mukaisesti. Muut tarvittavat osat ovat saatavilla läheisestä osavarastosta. Hitsausosastolle 2, jossa robotit sijaitsevat, kertyy huomattavan paljon keskeneräistä tuotantoa asiakkaan A tuotteista. Näennäisesti robottivaihetta voidaan pitää pullonkaulana. Heftatut kokoonpanot ovat täyttäneet käytävän ja osien siirtely on haasteellista. Robottihitsauksen jälkeen kokoonpano viimeistellään robottien läheisyydessä olevilla työpisteillä. Keskeneräinen tuotanto vie huomattavasti tilaa ja aiheuttaa hukkaa ylimääräisten siirtojen muodossa. Asiakkaan A kokoonpanon tuotantoprosessin hukkaa kartoitetaan tarkemmin luvussa 6.

Hitsausosastoissa on korkeuseroja, osaston 1 ollessa korkein. Osastossa 1 on myös hitsausosaston ainoa koko osaston kattava siltanosturi, jonka jänneväli on koko käytävän mittainen ja enimmäisnostokuorma 2 x 5t. Muissa hitsausosastoissa on käytössä nostureita kuormaväliltä 500-1000 kg. Johtuen suuremmasta nosturista, asiakkaan B tuotetta pitää jatkossakin tehdä osastossa 1. Asiakkaan B kokoonpanojen osat tuodaan osavalmistuksesta lavojen päällä lähelle työpisteitä. Lavoja (EUR-lava) on enimmillään ollut 45 kappaletta lattialla. Yhden EUR-lavan viedessä lattialta 0,96 m<sup>2</sup> tilan, saadaan 45 lavalle tilantarpeeksi 43,2 m<sup>2</sup>. Jotkut osat ovat silti lavaa suurempia ja lavat eivät ole aivan toisissaan kiinni. Nämä lisäävät tilantarvetta ja tilantarvetta voidaan pitää noin 7-10% koko hitsausosaston 1 tilasta. Käytäväkeskustelujen perusteella, lavojen määrä koetaan haitalliseksi työnteolle ja lavat aiheuttavat myös kompastumisvaaraa. Ehdotuksena oli rakentaa ulos osille oma varasto tai osavaraston siirtäminen hallin toiseen pätyyn. Voidaan kuitenkin todeta, että lavat aiheuttavat haasteita lattialla.

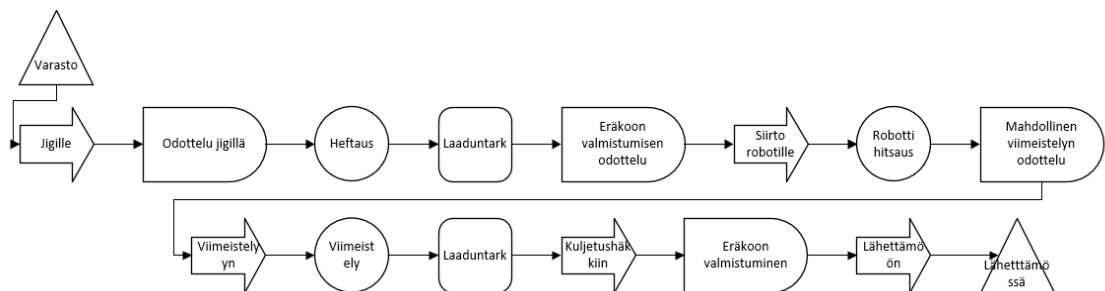


Asiakkaiden A ja B työt sisältävät yli 80% hitsausosastossa suoritettavista työtehtävistä. Näin ollen on perusteltua tarkastella muutoksia ensisijaisesti näiden kahden asiakkaan tuotteiden näkökulmasta. Yksi layoutin tekijöistä on kuitenkin aiemmin esitetty joustavuus. Työpisteiden sijainnissa tulee siis näin ollen ottaa huomioon myös muiden asiakkaiden tuotteiden valmistaminen. Hitsausosastossa työn suorittaminen poikkeaa hieman leikkausosaston menettelyistä. Asiakkaan A tuotteilla on viikoittaiset vakiovolyymit. Toisin eri variaatioiden määrät voivat hieman vaihdella.



Kuva 15. Asiakkaan A koneistettavan osan osakokoonpano

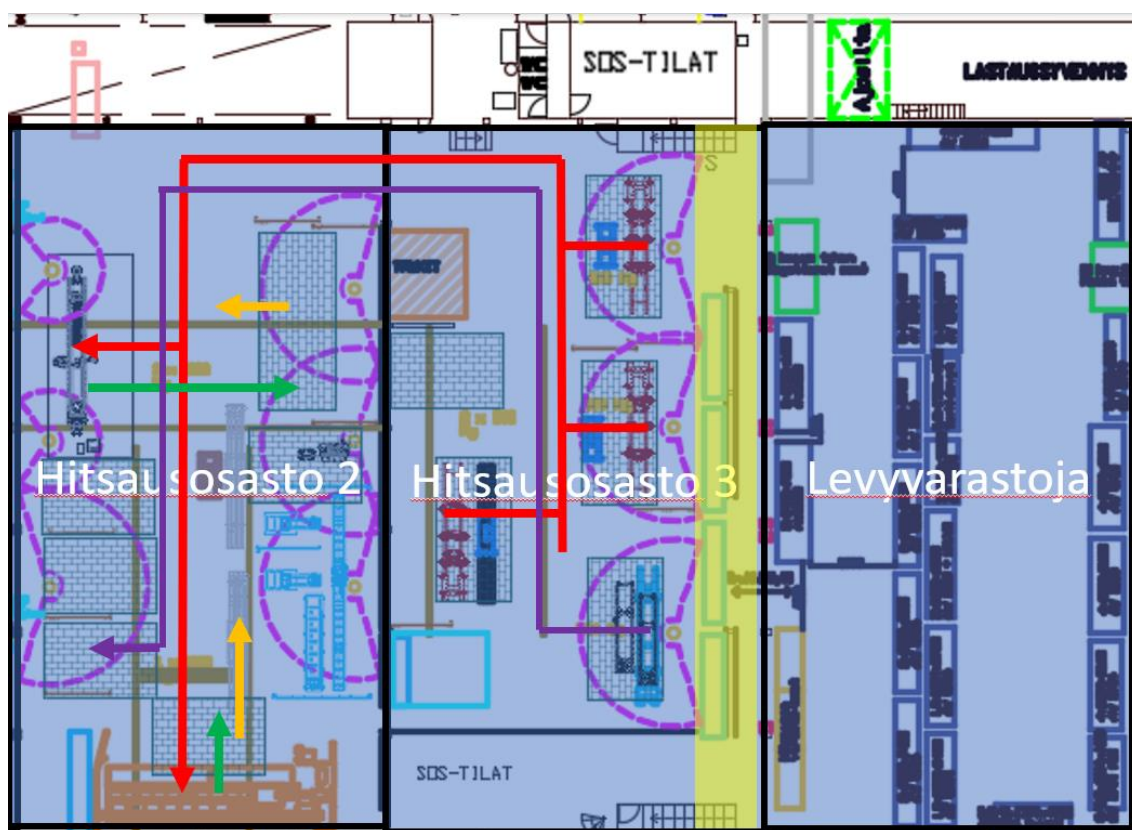
Asiakkaan A tuote sisältää osakokoonpanoja, joista yhdessä on aina koneistettavia vaiheita hitsauskokoonpanon jälkeen. Tämän osankokoonpanon työvaiheketju on esitetty kuvassa 15, alkaen osien ollessa varastossa. Erilaiset geometriat kuvaavat SLP:n mukaisia tuotantoketjun työvaiheita (Muther 2015, s. 60). Kolmio – varasto, nuoli – siirtyminen, ympyrä – käsittely ja neliöpuoliympyrä – odottelu. Osakokoonpano sisältää sekä särmätyjä että suoria laserleikkeitä ja polttoleikkattuja leikkeitä. Koneistuksen jälkeen osa toimitetaan takaisin hitsausosastolle (3), jossa osat liitetään pääkokoonpanoon. Huomioitavaa osan valmistusprosessissa on siirto toisen tehtaan tiloihin koneistukseen. Investoidulla työstökoneella on tarkoitus tehdä tähän osakokoonpanoon liittyvä koneistus. Näin ollen logistiikkaan (siirtoihin) tehtaiden välillä, ei kulu enää aikaa.



Kuva 16. Asiakkaan A tuotteen hitsausprosessi

Kuvassa 16 on esitetty asiakkaan A tuotteen hitsausprosessi. Prosessi on sama riippumatta jigistä, millä tuote heftataan. Poiketen kuitenkin manuaalisesti hitsattavasta tuotteesta. Manuaalihitsattavalla tuotteella on muutenkin pienempi menekki, kuin kolmella robotilla hitsattavalla tuotteella ja rakenne poikkeaa myös hieman. Kuvassa 16 on esitetty myös laaduntarkistuksen kuvio, joka on neliö pyöreillä kulmilla (Muther 2015, s. 60).

Hitsausosaston yhtenä suurena haasteena huomattiin keskeneräisen tuotannon ja puoli-valmisteiden suuri tilantarve lattiatasolla. Suuren pituuden lisäksi, painoa asiakkaan A tuotteella on useita satoja kiloja, eli siirtelyyn tulee kiinnittää huomiota. Leveydestä johtuen nykyisellä layoutilla tuotteiden liikkuttelu tulee tehdä käsin manuaalisesti. Kuvassa 17 on kuvattu asiakkaan A tuotteen liikkuminen hitsausosastossa nykyisellä layoutilla. Hitsausosastojen leveys on noin 22 metriä ja pituus noin 41 metriä. Hitsausosasto 3 on tehokkaalta pinta-alaltaan kuitenkin pienempi, johtuen taukotilan ja työnjohtotilojen sijainnista. Lisäksi hitsausosaston 3 ja levyvaraston välissä kulkee vanha henkilökulkusilta. Silta on esitetty kuvassa 20 keltaisella värillä.



Kuva 17. Asiakkaan A tuotteen materiaalivirrat hitsausosastossa

Punainen nuoli on siirtymä jigiltä robotille, vihreä nuoli robotilta viimeistelyyn ja keltainen viimeistelystä kuljetushäkkiin odottamaan lähetystä tai siirtoa. Lisäksi violetilla viivalla on kuvattu saman tuoteperheen täysin käsinhitsattava kokoonpano. Kuvasta huomataan, että nykyään kappale etenee kiertäen osastosta toiseen. Lisäksi virtaus on kaksisuuntaista, koska hitsaukseen saapuvat osat ja hitsausosaston sisällä liikkuvat osat käyttävät samaa käytävää, jonka leveys on noin 5 metriä. Virtaus ei näin ollen ole yksisuuntaista. Kappale liikkuu myös kertaalleen käytävän yli, mikäli robottihitsaus suoritetaan kuvan 17 mukaan pystysuorassa olevalla robotilla. Nykyään jigien suunnat ja seinät rajoittavat kokoonpanon liikettä hitsausosastolla. Lisäksi yhden jigien kokoonpano on mahdollista kuljettaa väärässä asennossa robotille. Näin tapahtuessa kokoonpano pitää kääntää, jotta

kiinnitys robottiin onnistuu. Alemmalle robotille osat menevät joka tapauksessa ”kohtisuorina”, jolloin nosturilla kääntäminen on välttämätöntä. Keskeneräistä tuotantoa on käytäväkeskustelujen mukaan päivittäin tiellä ja KET-kärryjä pitää siirrellä. Tähän kuluu paljon työaikaa. Tämänlainen siirtely kuuluu myös yhteen aiemmin esitetyistä hukan muodoista (tarpeeton siirtely). Robotille 2 puolestaan voi kertyä siirtymää mitatusti noin 72 metriä. Tarvittava resurssi sijaitsee suorinta reittiä 16 metrin päässä, joka on 22,2% nykyisestä siirtotarpeesta. Tämä siirtotyö saattaa sitoa yhtäaikaaisesti kolme työntekijää, koska siirto suoritetaan manuaalisesti työntämällä kärryjä. Kärryjen päällä saattaa olla tuhansia kiloja kuormaa, koska yksi tuote voi painaa jopa 500 kiloa. Kärry siirtyy heftauksesta (osasto 3) hitsaukseen (osasto 2), kun valmiita kappaleita on heftattuna viisi. Näin ollen asiakkaan A tuotannon alkuperäinen erä koko on viisi. Lisäksi muut työvaiheet voivat joutua väistämään (odottelemaan) kokoonpanojen siirtoja.

## 5. HUKAN MITTAAMINEN JA ERÄKOON PIENENTÄMINEN

Hitsausosaston lähtötilanteen selvittämisessä huomattiin suuri keskeneräisen tuotannon määrä. KET aiheuttaa kulkuväylien täyttymistä ja ylimääräistä siirtelyä. Hukan tunnistaminen on olennainen osa toiminnan kehittämisen lähtötilannetta. Tunnistamisen jälkeen voidaan keskittyä muutoksiin, joilla voidaan saada hukkaa vähennettyä. Tehtaan layout voi aiheuttaa hukkaa esimerkiksi siirtymien, nostojen, ylimääräisen käsittelyn tai varastoinnin kautta. Myös työpistekohtainen layout voi aiheuttaa hukkaa esimerkiksi työkalujen etsimisen muodossa. Luvussa 2 esitetyn 5S:n mukaan on tärkeää, että kaikilla asioilla on oma paikka, eikä työpisteillä ole mitään sinne kuulumatonta. Työpisteen tulee olla myös siisti. Tehtaan layout -suunnittelulla voidaan vaikuttaa myös näihin, työpistekoh-  
tasiin asioihin, joissain määrin.

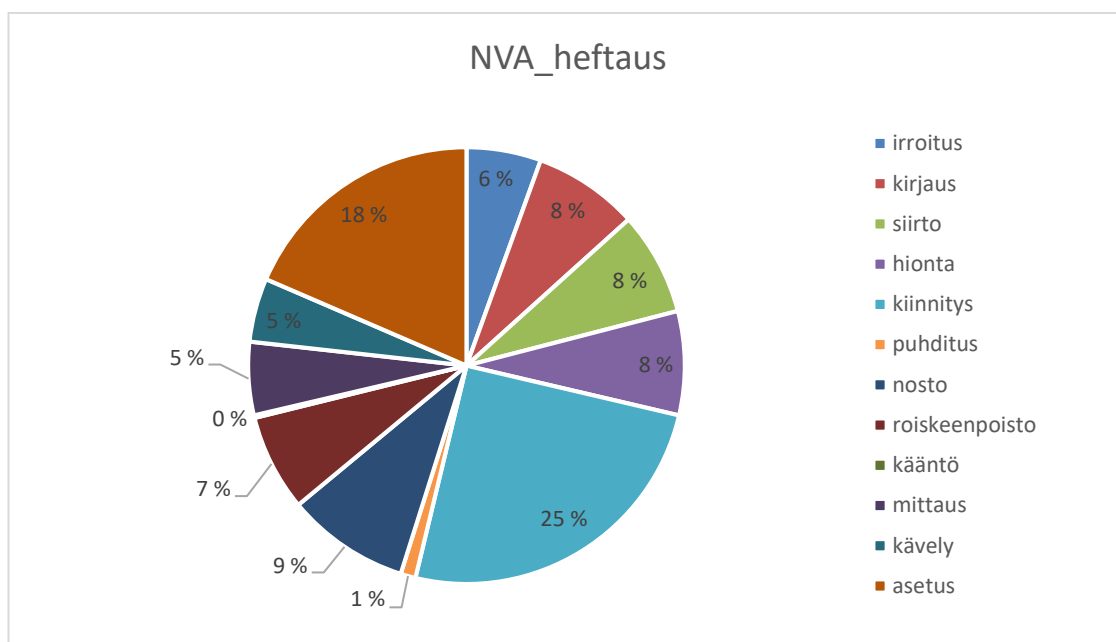
Tässä luvussa esitetään asiakkaan A tuotteiden tuotantoprosessissa arvoa tuottamattomien tekijöiden osuudet. Toinen virtaustehokkuuden osa-alue on eräkoon tarkasteleminen. Kuten luvussa 4 esitettiin, tuotteita kuljetetaan käytäviä pitkin käsin siirtelemällä, eräkoolla neljä tai viisi.

### 5.1 Hukan mittaaminen

Luvussa 2 käsiteltiin hukkaa ja muutamia menetelmiä, joilla hukkaa saadaan poistettua tuotantoprosessista. Modigin mukaan ongelmia syntyy, mikäli lean nähdään enemmän keinona, kuin tavoitteena (2018, s. 93). On siis olennaista asettaa leanin mukainen tavoite, jota käytettävät työkalut tukevat. Tavoitteena voidaan pitää virtaavaa materiaalivirtaa ja layouttia, joka mahdollista visuaalisen ohjaamisen mahdollisimman hyvin ja pienentää virtausyksiköiden läpimenoaikaa. Layoutilla voidaan vaikuttaa nostoihin, siirtoihin ja näin ollen ylimääräiseen materiaalinkäsittelyyn merkittävästi.

Jotta saadaan selvitettyä prosessissa syntyvä hukan määrä, pitää asiaa tutkia soveltuvalla menetelmällä. Hukan tarkkailua varten päädyttiin videoimaan asiakkaan A tuotteen valmistusvaiheita hitsausosaston puolella. Videoinnilla saadaan hyvä käsitys itse työskente-  
lystä ja eri työvaiheisiin kuluva aika helposti kartoitettua. Työvaiheet jaettiin kolmeen jo aiemmin esitettyihin vaiheeseen: heftaus, robottihitsaus ja viimeistely. Videoinnissa oli tarkoitus tutkia etenkin siirtelyihin kuluva aikaa, mutta toisena hyötynä voidaan todeta videoinnin hyödyntämismahdollisuudet työn standardointiin tai asetusajkojen vähentämi-  
seen. Kerätystä datasta on mahdollista jatkaa kyseisten asioiden tutkimista ja tulosten perusteella asian tarkempi tarkastelu olisi kannattavaa. Videointeja tehtiin kolme työvai-  
hetta kohden, jotta tietoja ja mahdollisia vaihteluja saatiin kerättyä riittävästi. Yksi video oli aina vuoron (8 tuntia) mittainen ja kaksi kuvauksista suoritettiin peräkkäisinä päivinä

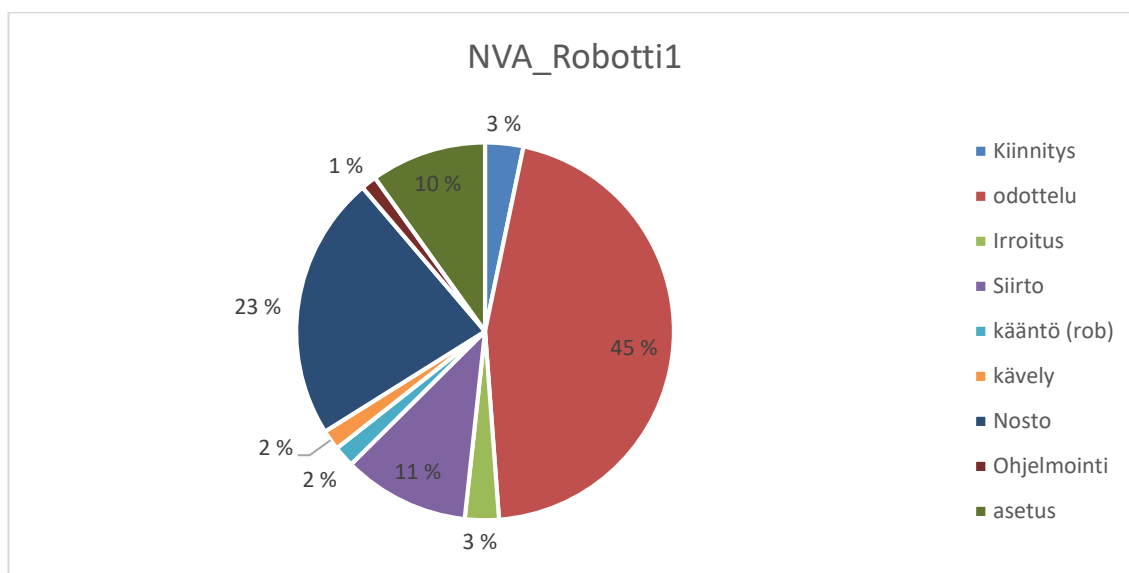
ja viimeinen kahden viikon kuluttua ensimmäisistä videoista. Seuraavissa kuvissa 18-21 esitetään jokaisen työprosessiin arvoa tuottamattoman ajan (NVA) jakautuminen. Kuviin on laskettu kolmen videon keskiarvo kyseiseen NVA-työtehtävään kuluneesta ajasta. Jigeistä (heftausvaihe) valittiin vain yksi tarkasteltavaksi. Työt jigeillä ovat kuitenkin hyvin samanlaisia eri jigien kuuluessa samaan tuoteperheeseen. Johtuen robotthitsauksen erilaisista layouteista, nämä tarkasteltiin omina kokonaisuuksinaan. Nostojen ja siirtojen välinen ero tehtiin nosturin käytöstä. Mikäli kappaletta piti siirtää nostamalla, NVA-aika luokiteltiin nostoksi. Vastaavasti siirtäminen ilman nosturia luokiteltiin siirroksi. Kääntö on näiden kahden yhdistelmä, joka johtuu osien saapumisasennosta työpisteille, mikäli osa oli väärinpäin, piti osa ensin kääntää ennen työskentelyn aloittamista.



Kuva 18. Heftauksen NVA -jakautuminen

**Heftauksessa** arvoa tuottamattomista työtehtävistä eniten aikaa kului kiinnitykseen ja yleiseen asetteen tekemiseen, kuten kuvasta 18 huomataan. Kiinnitys sisältää osien kiinnitysvaiheen jigiin, joka mahdollistaa hitsaamisen. Kiinnitys ei kuitenkaan sisällä itse hitsaamista, koska hitsaamista pidettiin arvoa tuottavana aikana (VA). Layoutin kannalta olennaisia NVA -tehtäviä ovat siirrot, nostot ja kävely. Kirjausaika sisältää myös työn kuittaamisen ERP:iin, mutta tätä on pyritty kompensoimaan ottamalla selvää varsinaisesta kirjausajasta ja tähän liittyvästä kävelystä kirjausasemalle. Layoutin aiheuttamia hukkia ovat mm. siirrot, käännöt, nostot ja kävely. Näiden osalta NVA-ajat ovat yhteensä 22% kaikista hukkaa aiheuttavista ajoista heftaus -työvaiheessa, kääntöjen ollessa 0% käytetystä työajasta. Nopeiden asetuksien näkökulmasta, kiinnitys ja asetteen tekeminen vastaavat 43% NVA-ajasta heftausvaiheessa ja näin ollen näiden vaiheiden kriittinen tarkempi tarkastelu ja toimintatapojen muutosten tekeminen saattaa vähentää NVA-aikaa.

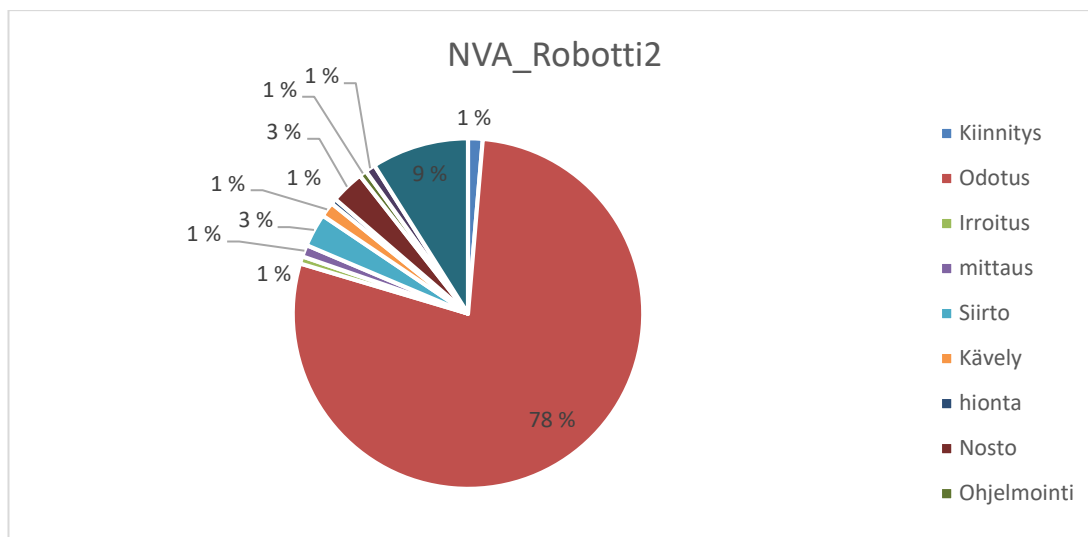
Seuraavana työvaiheena hitsauskokoonpanolle on robottihitsaus. Robottihitsausasemia osastolla 3 kappaletta, joista kahdella hitsataan pääkokoonpanoa ja yhdellä osakokoonpanoa. Pääkokoonpanoa voidaan hitsata molemmilla roboteilla, riippumatta jigistä, josta heftattu kokoonpano on tulossa. Kuvissa 19 ja 20 esitetään hitsausrobottien NVA -jakautuminen. Lähtökohtaisesti NVA-ajat olivat roboteilla pienempiä, kuin heftaus- ja viimeistelyvaiheissa, johtuen robottien häiriövapaasta työskentelystä ohjelman aloittamiseen jälkeen.



Kuva 19. Robotin 1 NVA -jakautuminen

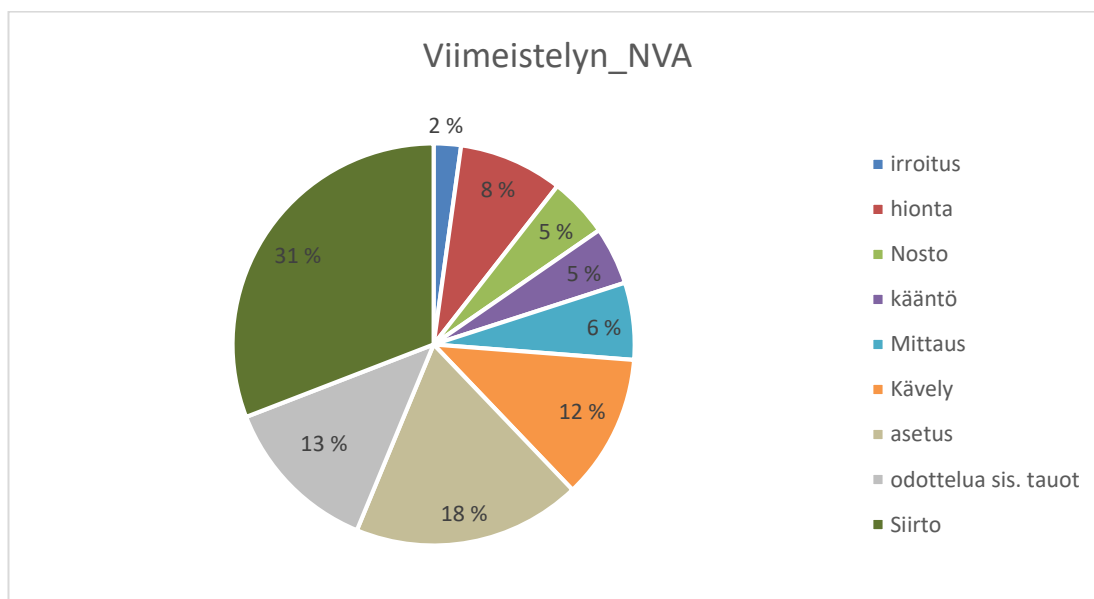
Molempien robottien NVA-ajat on otettu robotin näkökulmasta virtausyksikköön. Suurin osa NVA-ajasta kuului odotteluun, jolloin työntekijät siirtelivät KET-kärryjä pois tieltä, operaattorin tehdessä muita tehtäviä tai taukoillessa. Viimeistelyvaihe on jaksonajaltaan muutaman minuutin lyhyempi, kuin robottihitsausvaihe. Sama työntekijä vastaa sekä robottihitsauksesta että viimeistelyvaiheesta. Mikäli työntekijällä kuluu keskimääräistä enemmän aikaa viimeistelyn tekemiseen, saattaa robotti joutua odottelemaan. Näin ollen Tätä voidaan tietyllä tavalla pitää myös layoutin kannalta merkittävänä tekijänä, joka tulee ottaa suunnittelussa huomioon. Suoraan layoutin tekijöitä (siirto, kävely, nosto) on yhteensä 36% NVA-ajasta. Robotti 1 työkappale nostetaan käytävän ylitse ja tähän kuluu merkittävästi aikaa. Lisäksi käytävällä liikkuminen on estetty nostotehtävän ajaksi.

Kuvasta 20 huomataan odottelun olevan huomattavan suuri arvoa tuottamaton työvaihe myös robotilla 2. Tämä ei yksin johdu siirtelyistä, jolloin robotti odottelee, vaan robotin 2 käyttäytymisestä. Robotin ohjelma saattoi keskeytyä useasti operaattorin tätä huomatta (operaattori keskittyi viimeistelyyn). Mikäli odottelu otetaan huomioon, layoutin aiheuttamien NVA-aikojen osuus on 7% ja ilman odottelun huomioimista 34% (asetuksien ollessa suurin 40%). Robotin pienenä etuna on kirjauskoneen läheisyys, kävelyyn kirjaamispaikalle kulu niin paljon aikaa, kuin muilta työpisteiltä.



Kuva 20. Robotin 2 NVA -jakautuminen

Viimeisenä työvaiheena asiakkaan A tuotteisiin tehdään **viimeistely**. Viimeistelypisteitä on kaksi, molemmille roboteille omansa. Viimeistely on manuaalinen työskentelyvaihe. Kuvasta 21 huomataan, että viimeistelyssä aikaa kuluu paljon siirtoihin ja asetteen tekemiseen. Kun otetaan muut layoutilla vaikutettavissa olevat NVA-ajat huomioon, saadaan viimeistelyprosessin tulokseksi 48%.



Kuva 21. Viimeistelyvaiheen NVA -jakautuminen

Kuten aiemmin todettiin, viimeistelyvaiheesta ja robottihitsausvaiheesta vastaa sama työntekijä (molemmilla asemilla yksi). Työpisteiden vaiheajat menevät suuruusjärjestyksessä: heftaus > robottihitsaus > viimeistely. Kuitenkin robottihitsauksen ja viimeistelyn vaiheajat ovat lähellä toisiaan ja robotti joutuu odottelemaan, mikäli työntekijä joutuu suorittamaan muita tehtäviä tai on tauolla. Viimeistelyvaiheesta on layoutin näkökul-

masta saavutettavissa eniten hukan poistamisen mahdollisuuksia. Huomattavia NVA-aikoja layoutin kannalta olivat nostot sekä siirrot. Nostoissa etenkin robotilla 1 tapahtuva käytävänmittainen (n. 20 metriä) edestakaisin tapahtuva siirtely on turhaa. Lisäksi robotin 1 ja siihen kuuluvan viimeistelypisteen tilantarve on huomattavasti suurempi, kuin robotilla 2, jonka viimeistelypiste on robotin välittömässä läheisyydessä. Layoutin kehittämissuunnitelmaa käsitellään tarkemmin luvussa 6. Kaikissa työvaiheissa asetusten tekeminen ja odottelu olivat huomattavia hukan aiheuttajia.

## 5.2 Eräkoon minimointi

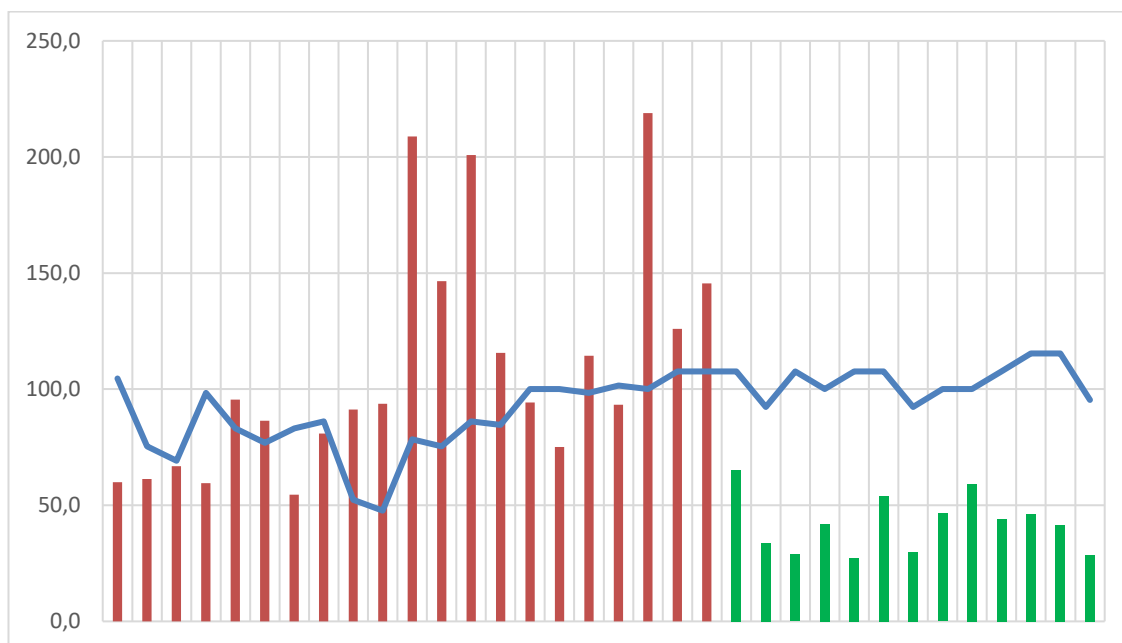
Videoinnin avulla saatiin selvitettyä hitsausosaston asiakkaan A tuotteen prosessin hukat. Layoutin -suunnittelun näkökulmasta ensisijaisesti eniten kiinnostusta herättävät siirtojen, nostojen ja kävelyyn kulunut aika. Kuitenkaan pelkällä siirtojen ja nostojen minimoimisella ei mahdollisesti saavuteta optimaalisinta tulosta. Miksi robotit näyttivät pullonkauloilta, vaikka heftausvaihe oli hitain prosesseista? Seuraavaksi tutkitaan, voidaanko pienemmällä eräkoolla saavuttaa pienempää läpimenoaikaa ja näin ollen purkaa pullonkaula? Luvussa 2 esitettiin virtaustehokkaan ja resurssitehokkaan tuotantostrategian eroja ja huomattiin, että eräkoon määrittäminen pieneksi on keskeinen osa virtaustehokkuutta. Toinen tutkittava kohde oli lattiatilan vapautuminen raskaista siirtokärryistä, joita oli haastavaa liikutella.

Eräkoon vaikutusta tarkasteltiin pienentämällä erä koko heftauksesta arvosta 5 arvoon 1. Kärryt, joissa viittä tuotetta kuljetettiin, korvattiin kärryillä, johon mahtuu vain yksi heftattu kokoonpano. Uuden kärryn siirtely onnistui yhdeltä työntekijältä, edellisen kolmen sijaan. Näiden kärryjen määrää hitsausosastolla rajattiin neljään kappaleeseen. Keskeneneräinen tuotanto pystyy olemaan näin ollen enintään 10 kappaletta: 2 heftauksessa, 4 kärryillä, 2 roboteilla ja 2 viimeistelyssä. Kärryjä on kaksi ylimääräistä heftaukselle, mikäli heftattuja kokoonpanoja saadaan nopeammin tai robotilla/viimeistelyvaiheissa on häiriöitä. Nopeasti huomattiin, että keskeneneräisen tuotannon määrä väheni hitsausosaston käytävillä. Myös yksittäisen tuotteen läpimenoaika parani, koska odottelu heftaamisen ja robotihitsaamisen välillä pieneni. Mikäli tuotannosta haluttiin läpi yksi tietty kokoonpano valmistukseen, oli tämä myös tehokkaampaa vanhaan ratkaisuun verrattuna. Eräkoon ollessa 5, työntekijät siirtelivät ja nostelivat tuotteita kärryistä toiseen, kunnes löysivät halutun kokoonpanon hitsaukseen. Eräkoon pienentämisen jälkeen pitää heftaukseen ilmoittaa seuraavasta tuotteesta. Aikaa läpimenoaika saattaa kulua toki enemmän, mutta usean työntekijän työaikaa ei enää kulu turhiin siirtelyihin, nostoihin ja muihin NVA-aikoihin. Myös yhden kärryn liikuttelu havaittiin helpommaksi tavaksi siirrellä tuotteita työpisteiden välillä.

Kuvassa 22 on esitetty A tuotannon läpimenoajan kehitys ennen eräkoon minimoimista ja tämän jälkeen. Aikajänne läpimenoajalle on tässä tapauksessa otettu heftauksen aloittamisesta, viimeistelyn päättymiseen. Näin ollen ajanjakso on sama kuin videoinnissa.



Viiva kuvaa indeksiä viikoittaisten toimitusten määrästä. Pylväät kuvaavat indeksiä keskimääräisestä yhden A-tuotteen läpimenoajasta. Molemmissa kuvaajissa yksi piste on viikoittainen läpimeno (kpl) tai viikoittaisen läpimenoajan keskiarvo. Pylväiden väri vaihtuu vihreäksi, kun eräkokko rajoitettiin yhteen. Pylväiden tarkasteluvälit ajassa pysyvät samoina. Huomataan, että eräkoon minimoimisen jälkeen läpimenoajan indeksi ei ole noussut yli 70, kun eräkoon ollessa suuri ei indeksi arvo alittanut lukua 50. Toinen huomiotava asia on, että toimitusten (tilausten) määrä on samalla noussut. Tämä vahvistaa luvussa 2 esitettyä virtaustehokkuuden kasvua eräkoon määrittelemisessä.



Kuva 22. Eräkoon minimoimisen vaikutus keskimääräiseen läpimenoaikaan

Huomataan, että ennen eräkoon pienentämistä tuotanto oli resurssitehokasta. Tavoitteena, ettei robotilta lopu työt. Pullonkaula syntyi robotin eteen, koska operaattoreiden aikaa kului keskeneräisen tuotannon siirtelyyn ja vaihtelutekijöiden määrä oli prosessissa suurempi. Myös yksittäisen tuotteen läpimenoaika saattoi kasvaa huomattavan suureksi ja tuotteiden ollessa kärryillä päällekkäin, alimmaisen saaminen nopeasti robotille aiheutti haasteita ja lisää hukkaa ylimääräisten siirtojen kautta. Tuotteen valmistaminen meni huomattavasti virtaustehokkaampaan suuntaan muuttamalla eräkokko yhdeksi. Pullonkaula poistui robotilta ja siirtyi heftaukseen. Tämä käy ilmi turhan siirtelyn vähenemisenä sekä läpimenoaikojen tarkastelusta. Eräkoon muuttaminen yhteen aiheuttaa roboteille odottelua, koska heftausvaihe ei ehdi valmistamaan riittävästi kokoonpanoja robottivaiheeseen. Aiemmin käsiteltiin heftausvaiheessa syntyvät NVA-ajat. Aikoja pienentämällä, hukkaa poistamalla, voidaan vähentää robotin odottelua.

Läpimenoajan pieneneminen voi johtua useasta tekijästä. Huomattavimpia hitsausosastolla on vähentynyt KET -kärryjen siirtely, jotka ovat ennen olleet tiellä. Yhden kappaleen siirtäminen on myös onnistunut hyvin yhdeltä työntekijällä. Näin ollen kahta muuta työtä ei ole tarvinnut keskeyttää, kuten aiemmin KET -kärryjä siirrettäessä. Uutta hukkaa ei ole

syntynyt töiden uudelleen aloittamisen muodossa. Turha siirtely on myös vähentynyt tapauksissa, jos jokin tietty heftattu kokoonpano tulee saada ensimmäiseksi työjonoon. Heftatut kokoonpanot kasattiin ennen päällekkäin KET -kärkyyn. Mikäli alimmainen haluttiin saada seuraavaksi robottihitsaukseen, piti päällä olevat nostaa ensin pois. Tätä voidaan pitää turhana siirtelynä. Yhden heftatun kokoonpanon menetelmällä tätä mahdollisuutta ei tosin ole, vaan nopeasti läpi saatava tuote pitää siirtää heftauksen työjonoon ensimmäiseksi.

Keskeneräisen tuotannon mittaaminen perustuu havaintoihin sekä videoilla näkyviin määriin. Videoita ei kuitenkaan kuvattu samanaikaisesti, eli videoiden perusteella todellista keskeneräisen tuotannon määrää ei saada tarkkaan kartoitettua. Keskeneräistä tuotantoa ennen eräkoon rajaamista oli heftauksen ja viimeistelyn välillä 13-23 kappaletta. Optimina eräkokona voidaan uudella järjestelyllä pitää 6-8kpl: yhdet molemmilla jigeillä, yhdet molemmilla roboteilla ja yhdet viimeistelyvaiheissa. Varmuuden vuoksi KET-jonossa voi olla 1-2 tuotetta, ettei robottien työskentely pysähdy.

## 6. HITSAUSOSASTON UUDEN LAYOUTIN SUUNNITTELU

Koneistuskeskuksen sijainti vaikuttaa hitsausosaston tuotantoon. Alueella on hitsausosaston varastoja ja neljä hitsauspaikkaa pitää siirtää. Myös ristiin menevät materiaalivirrat heftaus- ja robottihitsausosastoilla aiheuttavat haasteita. Tällä hetkellä kaksi kolmesta hitsausosastosta päättyy umpikujaan, joka ei ole materiaalin käsittelyn kannalta optimaalisin ratkaisu (Muther 2015, s. 166). Kuten luvussa 4 todettiin, käytävillä olevia KET-määrä on huomattava ja työpisteille liikkuminen trukin kanssa haasteellista. Heftauspuolelta roboteille menevät tuotteet ovat isoja ja niiden siirtely haastavaa. Tätä kehitettiin eräkoon pienentämisellä ja keskeneräisen tuotannon rajaamisella. Tuotannon virtauttamisen kannalta olennaista on tiivistää layouttia, jolloin siirtojen etäisyys pienenee. Myös tuotannon visuaalisuutta saadaan lisättyä, kun työpisteet ovat mahdollisimman lähellä toisiaan. Asiakkaan A tuotteen kannalta pidettiin myös tavoitteena, ettei tuotetta tarvitse kääntää 180 astetta käytävillä. Kääntö johtuu asemoinnista robotille. Kuten aiemmin todettiin, robotteja syötetään nykyään kolmesta eri jigistä, joissa jokaisessa tehdään eri mallia tuotteesta. Optio yhden uuden hitsausrobotin lisäämiselle tuli ottaa huomioon layout -suunnittelussa.

Luvussa 3 esitettiin layoutin suunnitteluun liittyviä keskeisimpiä tekijöitä, jotka pitää ottaa huomioon layouttia suunnitellessa. Lähtökohtana layout suunnittelulle on nykyinen layout ja lähtökohtaisesti ainoana kiinteänä pidetään ennakoon päätettyä työstökoneen sijaintia. Osastolla 1 on suurempi nosturikapasiteetti (2 x 5t), eli ei ole perusteltua siirtää asiakkaan A tuotantoa hitsausosastolle 1 ja asiakkaan B tuotantoa vastaavasti pois osastolta 1 (tarvitsee osaston 1 kokoluokan nosturin). Asiakkaan A tuotteen pääkokoonpanolle ei tässä tapauksessa ole tarvetta koneistukselle, eli sijainti lähellä työstökoneetta ei ole tästäkään näkökulmasta perusteltua. Pääkokoonpano kuitenkin sisältää alikokoonpanon, joka sisältää koneistusvaiheita. Hitsausosastolla sijaitsevat sosiaalityilat ovat myös yksi kiinteä tekijä, jota ei tässä yhteydessä muuteta. Robottien siirtoja ei poissuljeta, mutta ovat haastavampia siirtää, kuin käsihitsauspisteet tai jigit, johtuen suuremmasta työstä siirron eteen. Myös robottien ohjelmat voivat häiriintyä siirtojen seurauksena. Vieressä sijaitsevan levynvaraston muuttamista hitsausosaston käyttöön ei myöskään poissuljeta.

Taulukossa 5 on esitetty hitsausosaston nykyiset työpisteet ja näillä tapahtuvat työtehtävät. Tunnuksen ensimmäinen numero merkitsee tuotekokonaisuutta ja toinen numero järjestysnumeroa. Jälkimmäinen numero kuvaa kuitenkin järjestystä ainoastaan robottihitsauksen tunnuksilla. Pinta-ala on työpisteellä nykyään käytettävissä oleva neliömäärä. Nosturitarve ilmoittaa työpisteen nykyisen nosturitarpeen. Siirrettävyys kuvaa työpisteen siirtämisen haastavuutta asteikolla 1-5, jossa 1 on todella haastava siirtää ja 5 todella helppo siirtää. Lähtökohtaisesti robotteja voidaan pitää haastavasti siirrettävinä ja käsin-

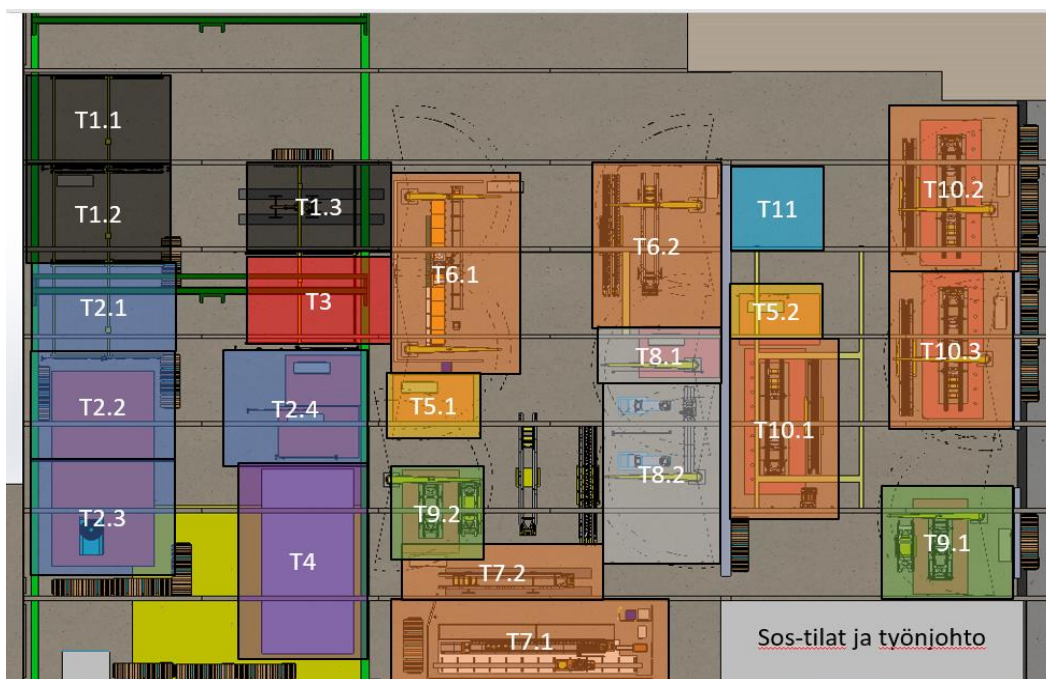
hitsauspisteitä helposti siirrettävinä. Poikkeuksen tekee T4, joka vaatii suuren nosturikapasiteetin ja huomattavasti pinta-alaa. Harmaalla pohjalla (T6, T7 ja T10) on esitetty asiakkaita A tuotteen kokoonpanon ensisijaiset työpisteet.

**Taulukko 5. Hitsausosastojen työpisteet ja tiedot**

Tunnus	Osasto	Tehtävä	Pinta-ala	Nosturi-tarve (kg)	Siirrettävyys
T1.1	1	Hitsaus	64	500	5
T1.2	1	Jigi/Hitsaus	64	500	5
T1.3	1	Jigi/Hitsaus	50	500	4
T2.1	1	Hitsaus	64	1500	3
T2.2	1	Hitsaus	75	1500	3
T2.3	1	Hitsaus/pyörittäjä	75	1500	2
T2.4	1	Hitsaus	60	1500	3
T3	1	Jigi/Hitsaus	45	500	5
T4	1	Hitsaus	95	2000	2
T5.1	2	Käsi	25	500	5
T5.2	3	Käsi	25	500	5
T6.1	2	Robottihitsaus	66	500	1
T6.2	2	Hitsaus	55	500	4
T7.1	2	Robottihitsaus	90	500	1
T7.2	2	Hitsaus	30	500	4
T8.1	2	Jigi	20	500	5
T8.2	2	Robottihitsaus	81	500	2
T9.1	3	Jigi	70	500	5
T9.2	2	Hitsaus	34	500	5
T10.1	3	Jigi	93	500	4
T10.2	3	Jigi	75	500	4
T10.3	3	Jigi	80	500	4
T11	3	Trukkien lataus	32	-	5
T12	1	Työstökone	350	<5000	-

Taulukosta 5 huomataan, että kaikki työpisteet tarvitsevat vähintään 500 kg nosturin, joita hitsausosaston nosturit pääsääntöisesti myös ovat. Työpisteiden pinta-alat vaihtelevat paljon. Etenkin työpisteillä T6.2 ja T7.2 on suuria eroja. Näillä työpisteillä on identtiset työtehtävät, mutta tilantarve on työpisteellä T6.2 melkein kaksinkertainen. Robotti T7.1 on puolestaan vanhempi ja rakenteellisesti vie enemmän tilaa, kuin samoja työtehtäviä suorittava robotti T6.1. Pisteiden T8.2 robotilla on kaksi pyörittäjää ja kääntögrilli. Kääntögrilliä ei ole kuitenkaan käytetty, eikä se sovellu nykyiselle (tai lähitulevaisuuden) tuotantoon. T8.2 robotista voidaan siis periaatteessa vapauttaa neliöitä muuhun käyttöön, mikäli grilli puretaan. Molemmat pyörittäjät tulee kuitenkin pitää käytössä. Yhtä käsinhit-

sauspaiikkaa vastaa myös osavalmistuspöydien trukkipöydien latauspiste. Hitsauspaikkojen lisäämiseksi tämän pitää siirtyä omalle osastolleen. Aiemmin käsitellyjen hitsauspaikkojen lisäämisen osalta, suurin paine on työpisteessä T3, jossa suoritetaan tällä hetkellä ensin tuotteen heftaus ja tämän jälkeen hitsaus. Volyymit ovat tällä tuotteella kuitenkin nousussa, eikä yhdellä työpisteellä tämän suorittaminen ole jatkossa mahdollista. Tuotteen hitsaaminen olisi mahdollista nykyisillä roboteilla, mutta toistaiseksi kapasiteetti ei tätä mahdollista. Taulukoissa esitettyjen pinta-alojen lisäksi on tärkeää myös huomioida, että jokainen työpiste tarvitsee myös riittävän työvalaistuksen, sähköjen tulot, sekä liitännät paineilma- ja suojakaasuverkkoihin. Työstökone on otettu taulukkoon mukaan kokonaistilanvaatimuksella. Taulukon 5 perusteella voidaan laskea, kuinka tehokkaasti tilaa käytetään eri hitsausosastoilla hyväksi, mahdollisten käyttämättömien neliöiden kartoittamista varten. Aiemmin esitettiin, että jokainen hitsausosasto on alaltaan 920 neliömetriä. Hitsausosastossa 3 sijaitsee taukotilat, joka voidaan tuotannon tilatarpeiden näkökulmasta jättää tässä yhteydessä pois, jolloin osaston 3 alaksi saadaan 812 neliömetriä. Laskemalla taulukossa 5 esitettyjen osastojen mukaan saadaan tilankäytön tehokkuudeksi lähtötilanteessa hitsausosastolla 1 noin 64% (592/920), hitsausosastolla 2 n. 34% (311/920) ja osastolla 3 n. 46% (375/812). Koko hitsausosaston lukema on näin ollen 48%. Tämä laskutoimitus ei tosin huomio käytävien tarvetta. Hitsausosastolla on tällä hetkellä noin 4,2 metrin käytävät ja näistä syntyvä kokonaispinta-ala on noin 600 neliömetriä. Uudelleenlaskemalla saadaan hitsausosaston pinta-alatehokkuudeksi 71%.



Kuva 23. Työpistetunnukset hitsausosastolle, alkuperäinen layout

Työpisteet T5 palvelevat eri työpisteitä pienten osakokoonpanojen hitsaamisella. Kuvassa 23 vasemmassa alareunassa oleva keltainen alue kuvaa työstökoneen vaatimaa tilaa. Alueella on kahden työpisteen lisäksi hyllyjä ja varastotyöntekijän työpiste. Kuten aiemmin todettiin, näiden siirtäminen on välttämätöntä.

Seuraavaksi selvitetään hitsausosastossa liikkuvista osista volyymeja sekä työpisteiden ja palveluiden välisiä riippuvuuksia. Materiaalivirran selvittämisen jälkeen jatketaan layoutin suunnittelulla. Materiaalivirran kartoittamista aloitettiin luvussa 4 käsittelemällä osien saapuminen hitsausosastolle, sekä asiakkaan A pääkokoonpanon vaiheketjujen kartoittamisella. Suunnitteluvaihe jaettiin kahteen eri vaiheeseen: 2D-block -suunnitteluun ja 3D-mallinnukseen. Ensin suoritettulla block -suunnittelulla pystyttiin luomaan nopeasti erilaisia vaihtoehtoja. 2D blockeja käytiin läpi pienen työryhmän kanssa, jossa tarkasteltiin vaihtoehtoja ja käsiteltiin entä-jos -kysymykset. Kun 2D malleja oli valmiina riittävä määrä, valittiin näistä toteuttamiskelpoisimmat ja suunnittelu siirrettiin 3D -mallinnukseen. Suunnittelun jälkeen lopputuloksena oli kolme eri layout vaihtoehtoa, joista yksi valittiin toteutettavaksi layoutiksi.

## 6.1 Materiaalivirran kartoittaminen

Hitsausosastolla tehtävät työt koostuvat asiakkaan A kokoonpanon lisäksi muutamasta muusta toistuvasta työstä. Työpisteillä T1-T3 saatettiin kuitenkin tehdä myös muita hitsauskokoonpanoja, kuin kyseisen työpisteen päävolyymituotteet. Aloitetaan materiaalivirran kartoittaminen tarkastelemalla kappalemääriä ja työpisteiden välisiä suhteita, kvantitatiivisella menetelmällä. Kappalemäärät on kerätty ERP:stä. Luvut on jälleen indeksoitu keskenään verrannollisiksi. Taulukossa 6 on esitetty työpisteiden volyymeita valmistuvien tuotteiden muodossa. Tiedot ovat 5 kuukauden ajalta. Käsinhitsauspisteistä ei ollut tietoa saatavilla.

*Taulukko 6. Hitsausosaston työpisteiden volyymit*

Työpiste	Osuus valmiista tuotteista	Työpiste	Osuus valmiista tuotteista
T1 (1-3)	9,0	T8	13,3
T2 (1-4)	12,7	T10.1	11,7
T4	2,1	T10.2	8,6
T6	16,7	T10.3	5,6
T7	10,4		

Taulukosta 6 huomataan, että T6 (toinen robottiasema) on suurin läpimeno koko hitsausosastolla. Huomioitavaa on kuitenkin robottien (T6 ja T7) välinen ero osuuksissa, joka on huomattavan suuri. Roboteilla tehdään asiakkaan A hitsauskokoonpanoa. Jigivaiheista T10 tulee huomioda, että T10.1 ja T10.3 välinen ero on yli kaksinkertainen. Työt T1 ja

T2 vievät työpistekohtaisesti noin 3 % osuuden. Työpisteen T4 volyymi on alhainen, tosin työpisteellä hitsataan kokoonpano, jonka osuus hitsausosaston työtuntien jakautumisesta on 8 % luokkaa. Kyseessä on siis paljon hitsausta vaativa kokoonpano. Työpistettä T4 käsitellään varsinaisessa suunnittelussa enemmän, koska suuren nosturi- ja tilantarpeen lisäksi työpiste on tulevan työstökoneen tiellä.

Seuraavaksi tarkastellaan työpisteiden välisiä riippuvuuksia. Työpisteiden välisiä riippuvuuksia lähestytään käyttämällä soveltuvasti SLP:ssä esitetyn toimintojen riippuvuussuhdetta. Tilojen ja toimintojen keskinäistä riippuvuutta tarkastellaan luokittelemalla eri tärkeysasteen mukaan. Tärkeysasteet ovat: A = välttämätön (punainen), E = erittäin tärkeä (keltainen), I = tärkeä (vihreä), O = tavanomainen (sininen), U = merkityksetön (valkoinen), X = ei-toivottu (ruskea). Luokkien tulisi jakautua niin, että A:n osuus on noin 2-5%, E 3-10%, I 5-15%, O 10-25% ja U noin 50%. (Muther 2015, s.86-89)

	T1.1	T1.2	T1.3	T2.1	T2.2	T2.3	T2.4	T3	T4	T5.1	T5.2	T6.1	T6.2	T7.1	T7.2	T8.1	T8.2	T9.1	T9.2	T10.1	T10.2	T10.3	Trukkien lataus	Työstökone	Sosiaalitilat	Työnjohto	Lähetäjä	Varastot	Työkaluvarastot	iso nosturi	pieni nosturi
T1.1	E	E	U	U	U	U	U	U	U	O	O	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	X	O	O	O	U	U	U	I
T1.2	E	E	U	U	U	U	U	U	U	O	O	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	I	O	O	O	U	U	U	I
T1.3	E	E	U	U	U	U	U	U	U	O	O	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	I	O	O	O	U	U	U	I
T2.1	U	U	U	I	I	I	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	O	O	O	O	U	U	A	O
T2.2	U	U	U	I	I	I	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	O	O	O	O	U	U	A	O
T2.3	U	U	U	I	I	I	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	O	O	O	O	U	U	A	O
T2.4	U	U	U	I	I	I	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	O	O	O	O	U	U	A	O
T3	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	I	O	O	O	U	U	U	U
T4	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	O	O	O	U	U	A	U
T5.1	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	X	O	O	U	U	U	U	U
T5.2	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	X	O	O	U	U	U	U	U
T6.1	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	X	U	O	U	U	U	U	U
T6.2	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	X	U	O	U	U	U	U	U
T7.1	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	X	U	O	U	U	U	U	U
T7.2	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	X	U	O	U	U	U	U	U
T8.1	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	X	U	O	U	U	U	U	U
T8.2	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E	O	O	U	U	U	U	U
T9.1	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	X	O	O	U	U	U	U	U
T9.2	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	X	O	O	U	U	U	U	U
T10.1	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	X	O	O	U	U	U	U	U
T10.2	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	X	O	O	U	U	U	U	U
T10.3	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	X	O	O	U	U	U	U	U
Trukkien lataus	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	X	O	X	I	U	U	U	U
Työstökone	X	I	I	O	O	O	I	U	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	I	U	U	U	A	O
Sosiaalitilat	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	U	O	U	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	U	U	U	U	U
Työnjohto	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	U	U	U	U	U
Lähetäjä	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	U	U	I	U	I	U	U	U	U	U	U	I	O	O	O	U	U	U	U	U
Varastot	U	O	O	O	O	O	O	O	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	O	U	U	U	U	U
Työkaluvarastot	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	O	O	O	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	O	U	U	U
iso nosturi	U	U	A	A	A	A	U	X	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	A	U	U	U	U	U	U	U	U
pieni nosturi	I	I	O	O	O	O	I	U	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	U	O	U	U	U	U	U	U	U

Kuva 24. Suhde-kaavio hitsausosaston alueista

Tekijöiden jakauma meni seuraavasti: A = 1%, E = 4%, I = 8%, O = 21%, U = 63%, X = 3%. Huomataan, että ainoat välttämättömiksi luokitellut liittyvät isoon nosturiin, jota tarvitsevat työtehtävät T2 ja T4. Myös työstökoneelle on luokiteltu nosturi erittäin tärkeäksi, mutta kokoluokka ei ole välttämätön. Jigien (T10) läheisyyttä robotteihin voidaan pitää tärkeä. Kuvasta 24 huomataan myös helposti työt, jotka eivät tarvitse työstökoneetta. Työpisteiden T1.2, T1.3 ja T8.2 olisi hyvä olla mahdollisimman lähellä työstökoneetta. Töistä T1 sijaitsee tällä hetkellä samalla osastolla, kuin tuleva työstökone, mutta ei tarvitse osastolla olevaa isoa nosturia. Työpisteet T2.2, T2.3 ja T4 sekä osavarastot pitää siirtää työstökoneen tieltä. Näin ollen töiden T1 säilyttäminen hitsausosastolla 1 saattaa osoittautua haasteelliseksi. Trukkien latauspisteeseen on mahdollista suhtautua myös kriittisemmin, koska nykyisellä latauspisteellä ladataan osavalmistuspäiden trukkeja. Tämän siirtäminen osavalmistuspäälle vapauttaisi tilaa uudelle käsinhitsauspisteelle.

## 6.2 Suunnitteluprosessi

Layoutin suunnitteluprojekti suoritettiin kaksiosaisena. Ensin suoritettiin karkeasuunnittelua 2D -blockien avulla. Blockit tehtiin mittakaavan mukaisesti vastaamaan todellisia työpisteitä. Tämä oli nopea tapa luoda erilaisia suunnitelmia layoutista. 2D -blokit eivät kuitenkaan pääse visuaalisesti samalle tasolle, kuin 3D suunniteltu layout. 3D-mallit luotiin työryhmän mielestä parhaimmille vaihtoehdoille. Suunnittelussa oli melko vähän rajoituksia, käytännössä työstökoneen sijainti oli ainoa etukäteen päätetty asia. Hitsausosaston rakenteita sai muuttaa, jotta saadaan lisää tilaa hitsausosastolle. Esimerkiksi hitsausosaston 3 ja levyvaraston välinen silta ja seinä päätettiin purettaviksi, jotta tuotannon tiloja on mahdollista käyttää koko osaston leveydellä. Hitsausosastojen 2 ja 3 välissä oleva seinä luokiteltiin myös purettavaksi, jotta osastojen välistä ”lokeroitumista” saataisiin vähennettyä. Tällä oli myös suuri vaikutus visuaalisuuden lisäämiselle koko hitsausosastossa. Työpisteiden välille syntyisi näin ollen näköyhteys ja väliseinän purkamisen mahdollistaa myös erilaisia vaihtoehtoja layoutin suunnittelulle. Väliseinän poistamisen vaikutusta pinta-alan lisäämiseen on kuitenkin haastavaa tarkkailla. Lähtökohtana päätettiin myös siirtää trukkien latausasema osavalmistuksen puolelle. Näin ollen periaatteessa hitsausosastolle vapautui yhden käsinhitsauspisteen verran tilaa. Neljäntenä lähtötilanteen poistettavana kohteena on robottiaseman T8.2 grillipyörittäjän poistaminen. Grillin poistaminen ja T8.2 tiivistäminen vapauttaa noin 40 neliömetriä. Työstökoneen kokonaistilarpeeksi arvioitiin noin 350 neliömetriä, josta itse työstökoneen osuus on noin 200 neliötä. Sillan poistolla, latauspaikan siirrolla ja robotin T8.2 muutoksilla vapautettiin hitsausosastolle tilaa noin 130 neliötä, eli käytännössä hitsausosastolta puuttuu 220 neliömetriä, kun työstökoneen asentaminen alkaa. Tämä vastaa 8% kaikkien hitsausosastojen alkuperäisistä aloista. Layoutin tiivistäminen on näin ollen perusteltua.

Työpiestekohtaista layouttia kehitti tehtaassa samanaikaisesti käynyt 5S-koulutusprojekti, jonka yhdessä vaiheessa poistettiin ylimääräisiä asioita työpisteiltä ja varastoista. Kuitenkin joissakin työpisteissä oli havaittavissa ns. hukkaneliöitä, osittain johtuen työpisteiden nosturien sijainneista johtuvista työalueiden rajaamisista. Lähtökohtaisesti työpisteiden pinta-aloihin ei puututtu, paitsi jigeillä T10, jossa kulkusilta aiheutti työpisteille T10.2 ja T10.3 noin 5-10 neliömetriä hukkatilaa. Suurin muutos pinta-alan suhteen kohdistui työpisteeseen T6.2, jolla oli lähtötilanteessa 25 neliömetriä enemmän tilaa käytettävissä, kuin toisella viimeistelypisteellä, jolla suoritettiin samaa tehtävää. Työpiste T6.2 suunniteltiin vastaamaan pistettä T7.2, jolloin tilaa säästettiin 25 neliömetriä. Tiivistettävää on jäljellä 195 neliömetriä.

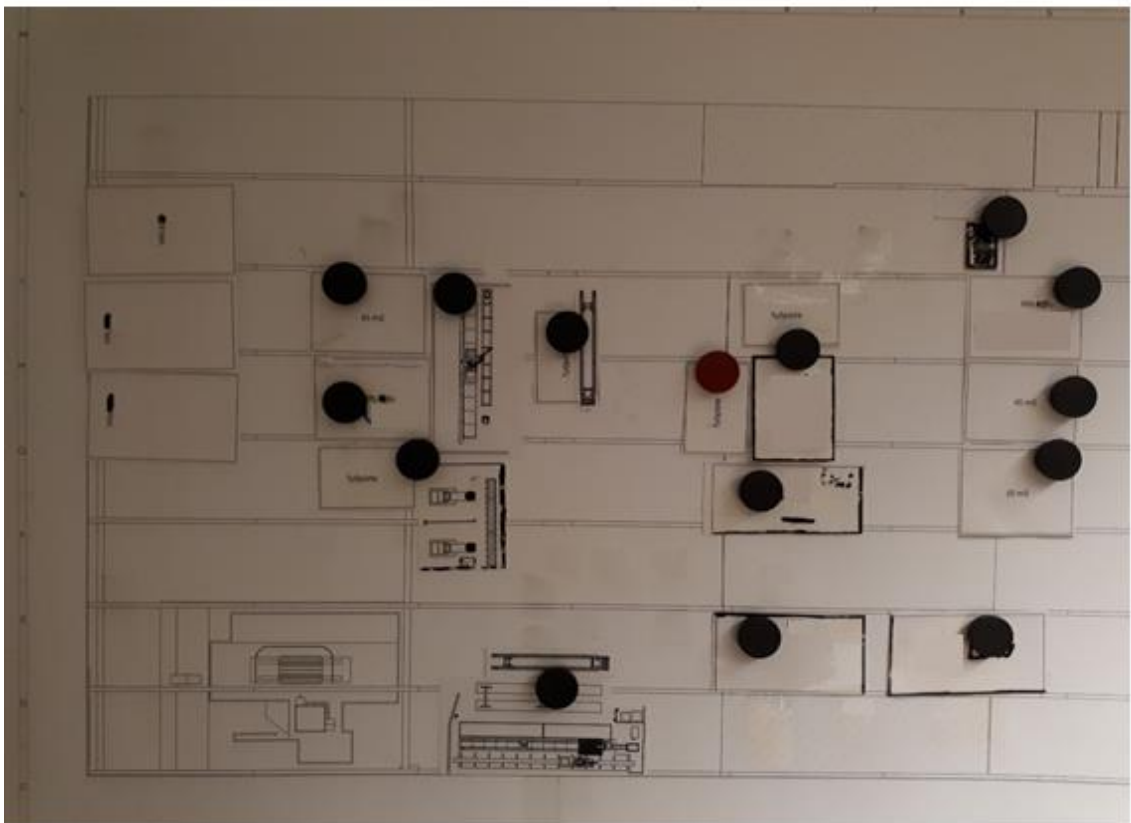
### 2D -suunnitteluprosessi

Layoutin suunnittelu aloitettiin 2D-blokkien piirtämisellä. 2D-blokit olivat suorakaiteen tai neliön muotoisia työalueita, jotka määrittivät yksittäisen työpisteen pinta-alan. Blo-



kit olivat mittakaavan mukaisia, joita sijoitettiin tehtaan rakenteiden layouttiin. Tätä vaihetta kutsuttiin myös karkeasuunnitteluksi, johtuen blockien epätarkkuudesta. Block -suunnittelun etuna oli kuitenkin erilaisten vaihtoehtojen nopea luominen.

Tässä vaiheessa huomattiin nopeasti, että työpisteet T2 ja T4 eivät tulisi mahtumaan uudistetulle hitsausosastolle 1. Näin ollen toinen näistä töistä piti siirtää toiseen paikkaan tehtäväksi. Siirrettäväksi työksi valittiin T4, johtuen T2 suuremmasta tilantarpeesta ja tuotteen monimutkaisuudesta. Näin ollen päätettiin, että hitsausosasto 1 jää ensisijaisesti T2 (asiakas B) töiden alueeksi. Työpisteen T4 siirtämisellä täysin toiseen sijaintiin, vapautui tilaa 95 neliömetrin edestä. Jäljellä on siis vielä 100 neliömetrin tilantarve. Kuitenkin robottityöaseman T8.2 olisi hyvä olla mahdollisimman lähellä työstökonetta. Päätös hitsausosaston 1 suhteen aiheutti haasteita T1 ja T3 pisteiden siirroille, ottaen huomioon, että T3 olisi tarkoitus jakaa kahteen vaiheeseen T3.1 ja T3.2. Kuvassa 25 on yksi esimerkki blocklayout suunnitelmasta. Muita kuvia 2D suunnittelusta on liitteessä A.



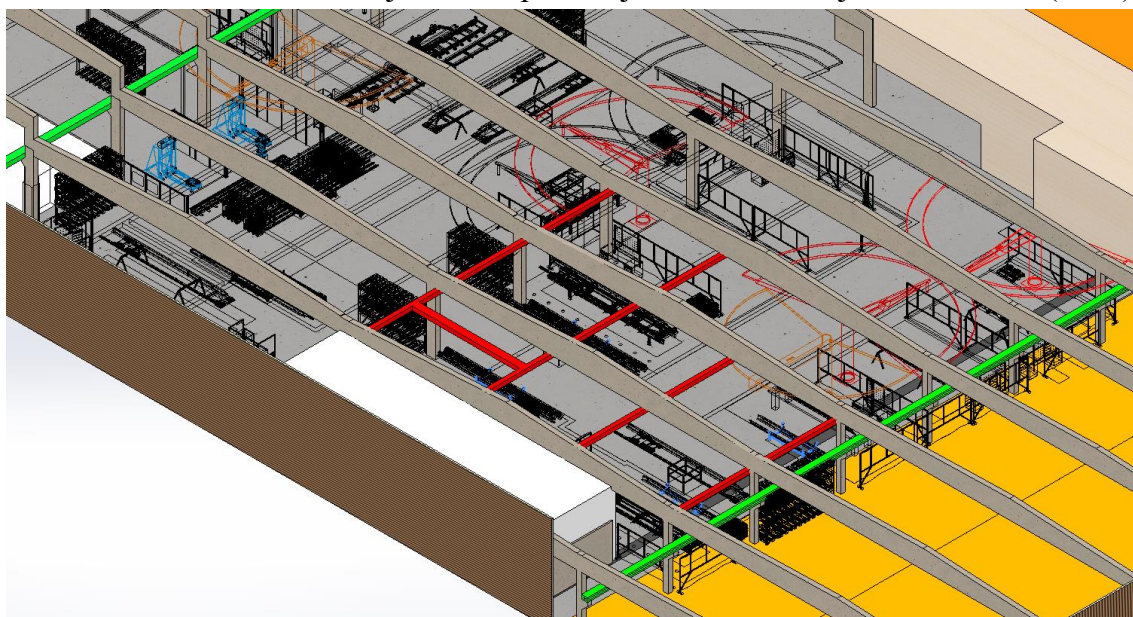
Kuva 25. Esimerkki block layout -suunnittelusta

Block -malleja tarkennettiin lisäämällä työstökoneen ja robottien todelliset muodot ja mitat blockeihin. Myös materiaalin käsittelyn kannalta merkittävä, asiakkaan A suurimman pääkokoonpanon malleja lisättiin block -malleihin. Näin pystyttiin helpommin tarkastelemaan kokoonpanon liikettä tuotannossa. Suurinta kokoonpanoa käytettiin myös kaikkien jigien tilantarpeen mitoituksen lähtökohtana. Block -vaiheessa huomattiin myös, että

hitsausosaston 3 kapeudesta johtuen, robottien sijoittaminen osastolle kolme on haastavaa.

### 3D -suunnitteluprosessi

Toisena layoutin suunnittelutyökaluna käytettiin 3D mallia tehtaan hitsausosastosta. 3D -suunnittelua tehtiin myös rinnakkaissuunnitteluna 2D suunnittelun ohella. Suunnittelu-menetelmä osoittautui hyvin visuaaliseksi, koska monista osista, roboteista ja jigeistä oli mallit olemassa. Toisaalta hyllyistä, nostureista ja työtasoista luotiin mallit. Lisäksi hallin rakenteista luotiin 3D malli. Mallista huomattiin hyvin hallin fyysiset rajoitteet, kuten noin 5,7 metrin välein sijaitsevat pilarit ja hitsausosastojen mataluus (4,2m).



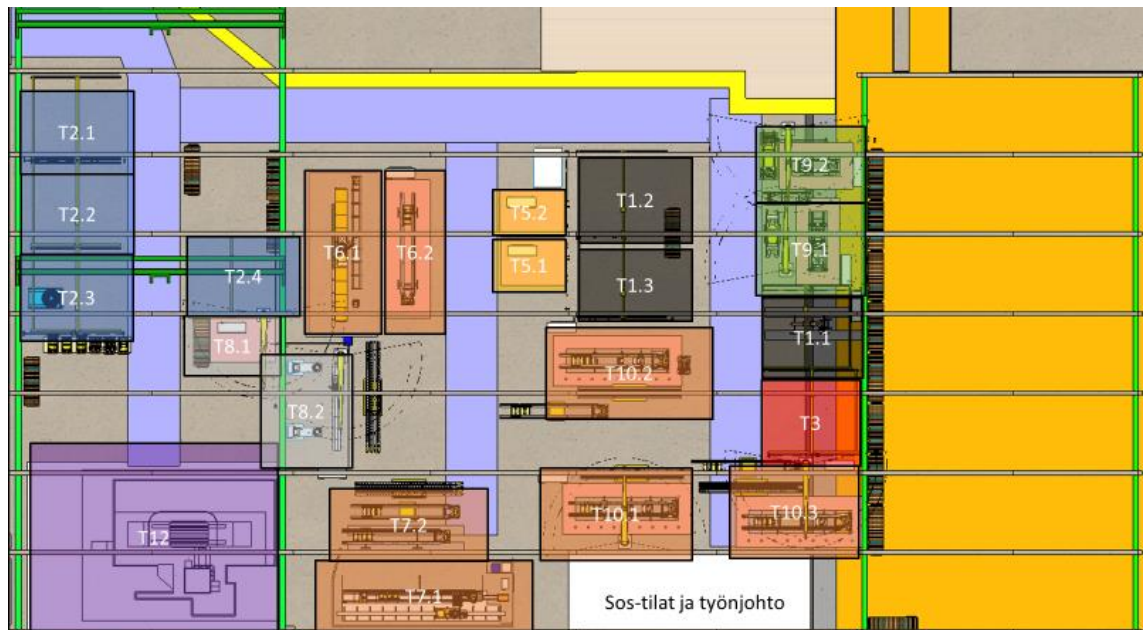
Kuva 26. Esimerkki hitsausosaston 3D mallista

Kuvassa 26 on esimerkkikuva hitsausosaston 3D -mallista. Kuvassa näkyvät kaaret ja viivat kuvaavat pylväskääntönosturien työalueita. Materiaalin käsittelyn suunnitteluun 3D malli osoittautui hyväksi työkaluksi, koska nosturien sijainteja ja työalueita pystyi vertaamaan olemassa oleviin työpisteisiin tehtaassa. Myös työpisteiden suunnittelun ja tarkistuksen osalta 3D mallista oli suuri etu projektin aikana. Yhtenä esimerkkinä voidaan pitää nosturiratojen tai työpisteiden sijainnin suunnittelemista mallissa, olemassa oleviin rakenteisiin (esim. pilarit). Mittojen kanssa hallin lattiatasolla piirrettiin viivoja, uusille työalueille. Näin saatiin nopeasti visuaalinen kuva uusien tilojen tarvitsemasta alueesta ja voitiin jo alustavasti arvioida idean kannattavuutta tai toteuttamismahdollisuutta ilman testisiirtoa.

## 6.3 Uuden layoutin valinta

Tässä luvussa esitellään kolme, projektin viimeiseen vaiheeseen, päässyttä layoutratkaisua. Kaksi näistä on samankaltaisia ja yksi poikkeaa muista selvästi. Valinta suoritettiin

valintamatriisia apuna käyttäen. Tällä kertaa mallina käytettiin osittain Kjellin mallia (2001). Seuraavaksi esitellään kolmen layoutvaihtoehdon X-Y-Z pääpiirteet. Tämän jälkeen vaihtoehdot pisteytetään. Kaikille vaihtoehdoille yhteisenä voidaan pitää levyvaraston maltillista käyttöä, T9 työpisteiden etäisyyden minimoimista, jigien kääntämistä ”vaakasuuntaan”, sekä T8 työpisteiden läheisyyttä työstökoneeseen nähden. Layoutvaihtoehtojen ainoat umpikujat sijaitsevat työstökoneella, joka kokonsa puolesta käytännössä aiheuttaa umpikujan. T2 työpisteet sijaitsevat rajoitustensa mukaisesti hitsausosastolla 1 jokaisessa vaihtoehdossa.



Kuva 27. Layoutvaihtoehto X

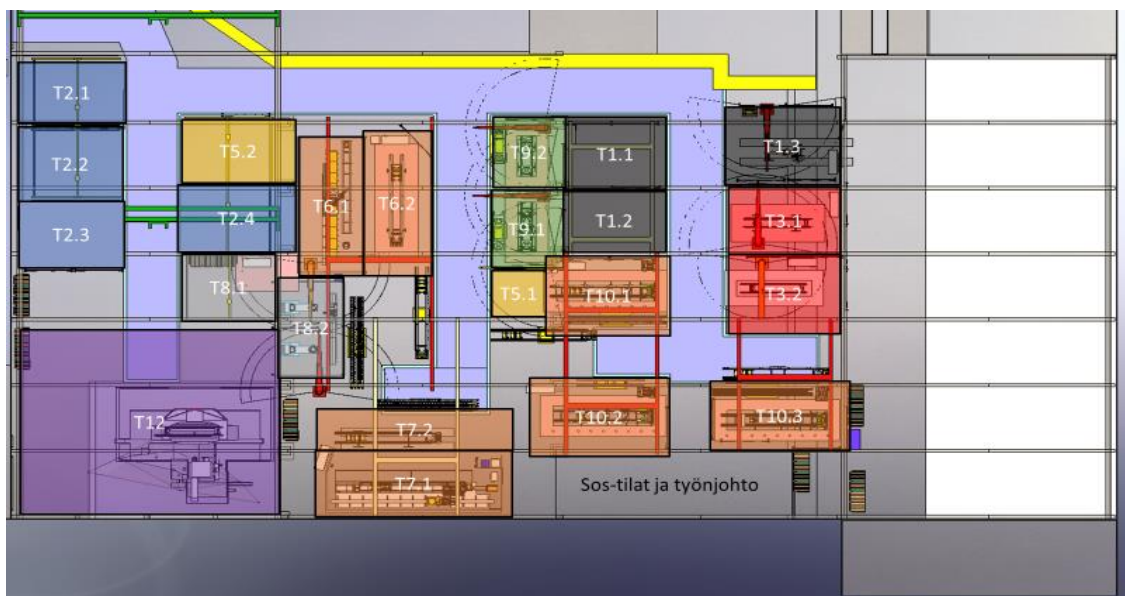
Layoutvaihtoehto X sisältää kaikki työpisteet, kuin lähtötilanteessa (pl. poissiirretty T4). Tässä vaihtoehdossa levyvarastoa hyödynnettäisiin läpivirtaushyllyillä. Tosin tämä soveltuisi ensisijaisesti käsin liikuteltaville osille, joita voisi ottaa hyllystä. Mikäli hitsausosaston osille rakentaisi erillisen oman varaston, ei levyvaraston tiloja tarvitse käyttää ollenkaan. Toisaalta toinen tapa eliminoida varastojen tarpeita on tarkastella itse varastojen osia ja niiden kiertoaikoja. Vaihtoehdossa X kaikki jigit T10 käännetään 90 astetta ja siirretään pois pääkulkuväylältä. Taivaansininen väri kuvaa käytäviä. Haittapuolena voidaan pitää T3 työpisteen pysymistä yhtenä. Tässä oli ajatuksena, että kyseinen osa voidaan hitsata roboteilla T6 tai T7 heftauksen jälkeen. Tätä ei kuitenkaan voi layoutin kautta päättää, vaan asian käsittely vaatii tuotannonsuunnittelun hyväksymistä tai lisää työvuo-roja roboteille. Myös uuden robotin sijoittamisen suhteen on tässä vaihtoehdossa kompromissi. Toisaalta robotin T8 voisi siirtää täysin hitsausosaston 1 puolelle, jolloin tilaa jää uudelle robotille (sama optio on voimassa kaikilla layoutvaihtoehdoilla).





Kuva 28. *Layoutvaihtoehto Y*

Kolmannessa layoutvaihtoehdossa Z ei ole T2 osille omaa varastoa. Tosin tämä on mahdollista myös muissa vaihtoehdossa, jolloin vapautuu yksi hitsauspaikka lisää. Vaihtoehto Z muistuttaa paljon vaihtoehtoa X, mutta merkittävä ero on hitsauspaikan T3 jakaminen kahteen ja kulkureitin säilyttäminen levyvarastoon. Tätä voidaan pitää myös joustavimpana vaihtoehtona, mikäli levyvarastoa on tarvetta jatkossa muuttaa enemmän hitsausosaston käyttöön. Toisena erona layoutvaihtoehto X nähden on työpisteiden T9 sijoittaminen hitsausosastolle 2.



Kuva 29. *Layoutvaihtoehto Z*

Kuten kuvista 27-29 huomataan, vaihtoehtoja layoutin muuttamiseen on melko vähän. Useammat radikaalimmat ideat piti hylätä johtuen hallin rakenteesta, kustannuksista tai

valmistettavien tuotteiden mittojen johdosta. Jokainen esitetty layoutvaihtoehto pystytään toteuttamaan ja mahdollistavat olemassa olevien tuotantojen jatkumisen. Vaihtoehto Z on ainoa, joka tuo uuden hitsauspisteen layouttiin. Taulukossa 7 on esitetty tilankäytön tehokkuuksia eri vaihtoehtoilla.

**Taulukko 7. Layoutvaihtoehtojen pinta-ala tehokkuudet**

Vaihtoehto	Hitsausosasto 1	Hitsausosasto 2	Hitsausosasto 3	Koko hitsausosasto
Vaihtoehto X	$644/920 = 0,70$	$217/920 = 0,24$	$575/812 = 0,71$	$1436/2652 = 0,54$ (0,75)
Vaihtoehto Y	$669/920 = 0,73$	$246/920 = 0,27$	$521/812 = 0,64$	$1436/2652 = 0,54$ (0,80)
Vaihtoehto Z	$669/920 = 0,73$	$296/920 = 0,32$	$516/812 = 0,64$	$1481/2652 = 0,56$ (0,77)

Suurimmat erot pinta-alojen käytössä ovat hitsausosastolla 2, jossa vaihtoehto Z käyttää tilaa hyödyksi paremmin kuin muut vaihtoehdot. Vastaavasti hitsausosastolla 3 vaihtoehto X käyttää tilaa tehokkaimmin. Koko hitsausosastoa tarkastellessa erot ovat kuitenkin pieniä. Sulkuihin on merkitty käytävät huomioiva arvo. Kun käytävät otetaan huomioon, niin kokonaisuutena vaihtoehto Y hyödyntää pinta-alaa tehokkaimmin.

Tutkimuksen päättää layoutin valinnan suorittaminen. Työstökoneen sijainti päätettiin käyttämällä valintamatriisia ja samaa menetelmää voidaan käyttää myös layoutin valinnassa. Kjellin mallissa on annettu painoarvot seuraaville tekijöille (suluissa painoarvon kerroin): tuottavuus (30), laatu (10), investointien määrä (10), turvallisuus (5), vaadittu taitotaso (10), toteuttamisaika (10), tekninen soveltuvuus (10), ergonomia (5) ja ekologia (5) (2001). Kjellin taulukkoon ei kuulunut kohta 10, joustavuus/tulevaisuus, mutta sitä voidaan pitää merkittävänä tekijänä layoutin valinnassa, kuten jo luvussa 3 esitettiin. Joustavuudelle annettiin painoarvoksi 10 ja tekniseltä soveltuvuudelta poistettiin 5 painoarvosta, koska vaihtoehdot olivat hyvin samankaltaisia, eikä merkittäviä teknisiä eroavaisuuksia ollut vaihtoehtojen välillä. Taulukossa 8 on layoutin valintamatriisi.

**Taulukko 8. Layoutin valintamatriisi (mukailen Kjell 2001)**

Nro.	Arviointikriteeri	Painoarvo	X	Y	Z
1	Tuottavuus	30	3; 90	3; 90	4; 120
2	Laatu	10	3; 30	3; 30	4; 40

3	Investointien määrä	10	3; 30	2; 20	3; 30
4	Turvallisuus	5	3; 15	2; 10	3; 15
5	Vaadittu taitotaso	10	4; 40	3; 30	3; 30
6	Toteuttamisaika	10	3; 30	2; 20	3; 30
7	Tekninen soveltuvuus	10	3; 30	2; 20	4; 40
8	Ergonomia	5	3; 15	2; 10	3; 15
9	Ekologia	5	4; 20	3; 15	4; 20
10	Joustavuus/tulevaisuus	10	3; 30	2; 20	4; 40
Summa		105	330	255	380

Tuottavuutta pidettiin merkittävämpänä arviointikriteerinä ja tässä vaihtoehto Z saa korkeimmat pisteet. Perusteluna on uuden hitsauspaikka, jota ei muissa vaihtoehdossa ole. Toinen ero pisteiden X ja Z välillä tulee laadusta ja vaaditussa taitotasossa. Vaadittu taitotaso syntyy varastojen käytöstä, joita on vaihtoehdossa Z vähemmän. Taulukon 8 mukaan kannattavinta on valita uudeksi hitsausosaston uudeksi layoutiksi vaihtoehto Z.

## 6.4 Tulosten arviointi

Työstökone lopettaa kuljetukset hallien välillä ja siirtymät asiakkaan A päätuotteen osakokoonpanoilla vähenevät kymmeniä kilometrejä. Kahdella kääntöpöydällä varustettu robotti palvelee täysin koneistuskeskusta, joka on otettu huomioon hyvin valitussa sijainnissa. Layoutin valinnassa vaikutti myös tulevaisuuden näkymien huomioon ottaminen. Todennäköisempänä nähtiin tarve uudelle robottihitsausasemalle. Mikäli tähän investoidaan, niin kääntöpöytärobotti siirtyisi vasemmanpuoliselle seinälle, hitsausosastolle 1. Toinen vaihtoehto on korvata vanha robotti uudella asemalla, koska videoinnissa huomattiin myös selittämättömiä keskeytyksiä robotilla. Vanha robotti on myös elinkaarensa päässä ja näin ollen sen vaihtaminen uuteen, modernimpaan vaihtoehtoon saattaa olla myös perusteltua. Myös volyymit ovat huomattavasti pienemmät vanhalla robotilla (T7) verrattuna uuteen (T6). Robotin (T8) siirtämistä vasemmalle seinälle ehdotettiin, mutta

sitä ei nähty vielä tarpeelliseksi johtuen soveltumattomasta lattiamateriaalista ja näin ollen syntyvistä lisäkustannuksista. Lisäksi työstökoneen samanaikaiset asennustyöt nähtiin haitalliseksi T8 vaihtoehtoiselle sijainnille.

Työpisteiden välisiä etäisyyksiä saatiin joissain määrin vähennettyä. Etenkin T9 valmistuksen siirtymät vähenivät huomattavasti (86% ja 65 metriä). Myös asiakkaan A päävoilyymituotteiden etäisyyksiä saatiin pienennettyä. Yleisesti voidaan todeta siirtymien vähentäminen ja pienentäminen onnistuneeksi. Työpisteiden muunneltavuus on otettu huomioon, mikäli automaation määrä kasvaa esimerkiksi tuotteen T3 valmistuksessa, ei vapautuva työpiste aiheuta häiriöitä muuhun tuotantoon nähden. Vapautuvalle työpisteelle voidaan ottaa uusia töitä, työpisteen rajoitusten salliessa.

Luvussa 5 tarkasteltiin hukan jakautumista hitsauskokoonpano -prosessissa. Layoutin näkökulmasta merkittävimpiä hukan muotoja ovat siirrot ja nostot. Työpisteiden välisten etäisyyksien pienentämisellä ja nosturiratkaisujen muutoksilla voidaan saavuttaa hukan pienenemistä prosessissa. Tätä ei kuitenkaan voida tarkemmin mitata ennen uuden layoutin valmistumista. Eräkoon muutoksilla kuitenkin mahdollistettiin tilan vapautumista KET-kärryiltä sekä läpimenoajan merkittävä pieneminen. Tuotannon visuaalisuutta kasvattaa jokaiseen layoutvaihtoehtoon lisätty lattiaviiva ja tämän maalaaminen. Työpiste-kohtaisia visuaalisuutta lisääviä asioita ovat mm. merkityt paikat eri asioille työpisteen sisällä, kuten työkaluille, lavoille ja osille. Myös käytävien maalaaminen on yksi visuaalisuutta tuova tekijä. Kulkureittien ja käytävien pitäminen vapaina on myös turvallisuutta nostava tekijä.

Toiveena diplomityölle oli myös tarkastella levyvaraston muuttamista hitsausosaston käyttöön. Tähän tarjottiin maltillisia ratkaisuja ja vain osa levyistä (3 nimikettä) tulee siirtää muihin tiloihin. Osavalmistuspuoella isompien laserien vieressä oli tilaa siirrettäville nimikkeille. Varastoista vapautunut tila siirtyy hitsausosaston osavarastojen käyttöön. Tämä mahdollisti myös trukin liikkeen hitsausosastolla 3, layoutin muutosten jälkeen. Haasteena levyvarastojen täydelle siirtämiselle oli tilan puute osavalmistuspuoella, sekä varastoitavien materiaalien vaatimat varastointiolosuhteet. Myös ilmanvaihto ja hitsauskäryjen poistaminen luo haasteita, mikäli vain osa levyistä siirrettäisiin pois ja tilaan luotaisiin hitsauksen työpisteitä. Näin ollen lähtökohtaisesti levyvarastoa käytetään hitsausosaston näkökulmasta vain osavarastona.

Layout suunnittelun haasteet, jo olemassa olevaan tehtaaseen, tulivat hyvin esiin tämän diplomityön aikana. Etenkin hallin pilareiden sijainnit aiheuttivat suuria haasteita ja rajoittivat suunnitteluvaihtoehtoja huomattavasti. Toinen haaste syntyi valmistettavien tuotteiden mitoista ja näin ollen pinta-alaltaan suurien valmistustilojen tarpeesta. Nämä yhdessä rajoittivat suuresti virtaavalle tuotannolle tyypillistä työpisteiden vierekkäisyyttä ja layoutin tiiviyyttä. Kuitenkin työpisteet, jotka olivat mielekästä laittaa vierekkäin, sijoitettiin vierekkäin.

Kohdeyritys haluaa toteuttaa valitun layoutin. Muutamille työpisteille hankitaan uudet nosturit, koska vanhojen nosturien huomattiin rajoittavan uutta layouttia tai olevan soveltumattomia. Varsinainen toteutuksen suunnittelu ei kuulunut diplomityön laajuuteen ja näin ollen sitä ei käsitelty. Työpisteiden väliset materiaalivirrat eivät mene keskenään ristiin hitsausosastolla. Myös materiaalivirran yksisuuntaisuus paranee, koska valitussa layoutissa ei lähtökohtaisesti ole umpikujia, paitsi osastolla 1, jossa työstökoneen koko aiheuttaa umpikujan. Lisäksi asiakkaan A kokoonpanojen valmistusprosessi ei mene enää ristiin muiden töiden kanssa.



## 7. YHTEENVETO

Tämä diplomityö keskittyi tuotantotehtaan layoutin uudelleenjärjestelyyn tulevasta konehankinnasta johtuen. Muutosten kohteen määrittävänä tekijänä oli työstökoneen tuleva sijainti. Tavoitteena oli selkeyttää materiaalivirtaa, nostaa hitsauspaikkojen lukumäärää ja lisätä tuotannon visuaalisuutta hitsausosastolla.

Layout -suunnittelun ohessa kartoitettiin heftaus-robotti-viimeistely vaiheissa syntyvä hukka. Etenkin siirtelyihin ja hitsausroiskeiden poistamiseen kului huomattavasti aikaa. Resurssitehokas ajattelu ”pidetään kone varmuudella käynnissä” aiheutti suuren määrän keskeneräistä tuotantoa, jota oli haastavaa liikutella ja joka sulki liikkumareitit työpisteille. Tuotteiden läpimenoajat vaihtelivat myös suuresti. Kun tuotannossa siirryttiin lähemmäs virtaustehokkaampaa ajatusta, eli tärkeintä on saada yksittäinen osa tai tuote mahdollisimman nopeasti tuotannosta läpi, saavutettiin hyviä tuloksia. Tuloksia oli esimerkiksi läpimenoajan pieneneminen ja siihen liittyvän vaihtelun tasaantuminen. Myös ylimääräinen ja raskas siirtely väheni merkittävästi. Sen sijaan pullonkaula, jonka näennäisesti huomattiin olevan roboteilla, siirtyi heftausvaiheeseen. Työmenetelmien standardoinnilla ja hukan vähentämisellä heftausvaiheesta voidaan vähentää robottivaiheen odottelua. Tämä suunnitteleminen ja toteuttaminen olivat kuitenkin tämän diplomityön laajuuden ulkopuolisia asioita.

Työstökoneen sijainnille ei lopulta jäänyt useaa vaihtoehtoa johtuen hallin rakenteesta. Hallin korkeus ja koneen sijainti materiaalivirran kannalta olivat merkittävimpiä rajoitteita valinnalle. Valitussa nurkassaan työstökone on kuitenkin vähiten aiheuttamassa häiriötä muulle tuotannolle. Koneen koosta johtuen piti tehdä kompromisseja layouttiin. Koneen valittu sijainti aiheutti layoutin muutospainetta hitsausosastolle. Yksi iso kompromissi oli siirtää yhden tuotteen hitsauskokoonpaneminen täysin toiseen yksikköön. Hallin rajoitteista johtuen, kyseisellä tuotannolla ei layoutin valinnan hetkellä ollut muita mahdollisia kohteita. Hitsausosastolle saatiin lisää tilaa siirtämällä trukkien latauspisteet osavalmistuspuoille, poistamalla tarpeeton grilli robotista, poistamalla osastojen välinen seinä, purkamalla vanha kulkusilta ja tähän kuulunut väliseinä. Myös hitsausosaston vieressä olevasta levyvarastosta siirretään nimikkeitä, joilla on suuri volyymi, lähemmäs osavalmistuksen leikkuukoneita. Työpisteiden pinta-alat pidettiin samoina tai pienennettiin hyvin maltillisesti. Valitussa layoutissa tehtiin kompromissi automatisoinnin lisäämisen suhteen, jättämällä kääntöpöytärobotti optimaalisimmalle paikalle uuden robotin kannalta. Kuitenkin tarvittaessa robotti voidaan siirtää toiselle paikalle, mikäli tarve automatisoinnin lisäämiselle konekannan kautta osoittautuu tarpeelliseksi. Hitsausosaston tuotannon visuaalisuuden lisäämistä saadaan valitun layoutin tuomalla työpisteiden välisellä näköyhteydellä. Lisäksi erilaisia aikamittareita tuodaan työpisteiden välille. Myös 5S -

koulutuksen avulla kasvatetaan työpisteiden visuaalisuutta, koska työpisteillä ei ole mitään sinne kuulumatonta ja kaikille asioille on oma merkitty paikkansa. Tätä tuetaan pitämällä työpisteet siisteinä ja näin ollen myös koneet ja laitteet ovat huoltovapaampia, sekä työpisteillä on tehokkaampaa ja turvallisempaa työskennellä.

## **7.1 Jatkotutkimuskohteet**

Jatkotutkimuskohteita tehtaassa voisi olla tässäkin työssä mainittu työtapojen standardointi hitsausosastolla ja hukan vähentäminen. Työhön kuuluneessa hukan kartoittamisessa kuitenkin huomattiin, että arvoa tuottamatonta työtä esiintyy monessa eri muodossa kokoonpanoprosessissa. Tässä työssä keskityttiin hitsausosaston layoutin muutoksen haasteisiin. Osavalmistuspuiden materiaaliveikko olisi varmasti hyvä saada yhtenäisemmäksi hitsausosaston tarpeiden kanssa, koska käytäväkeskustelujen perusteella paljon raportoitiin osien puutteista hitsausosastolla. Diplomityön aikana kävi ilmi, että osien etsimiseen saattaa kuulua huomattavan paljon aikaa ja osat eivät saavu oikealle paikalle. Aina ei välttämättä ole täysin selvää, että onko tarvittavaa osaa edes valmistettu. Hitsausosaston varastojen laajempi tarkastelu voisi olla myös kannattavaa esimerkiksi varasto-ohjautuvien osien hälytysrajoista ja todellisista tarpeista. Työn aikana ilmeni, että joillakin osavarastoilla saattaa olla hyvinkin pitkä kiertoaika (n. 12 kk).

## LÄHTEET

Allen T. 2007. Architecture and Communication Among Product Development Engineers. California Management Review Vol. 49 No.2. Viitattu: 18.5.2018. Saatavissa: <http://web.b.ebscohost.com.libproxy.tut.fi/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=fee5c1fa-5f8a-4f98-ac0b-8f5fd40936a5%40sessionmgr102>

Bragg S. 2017. Manufacturing throughput time, artikkeli, Viitattu 10.10.2018, saatavissa: <https://www.accountingtools.com/articles/what-is-manufacturing-throughput-time.html>

Brito M., Ramos A.L., Carneiro P., Gonçalves M.A. (2017) Combining SMED methodology and ergonomics for reduction of setup in a turning production area, Procedia Manufacturing, Vol. 13, s. 1112-1119, viitattu 1.11, saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917308107>

Chand S. Top 8 Factors Influencing Industrial Plant Layout, artikkeli, viitattu 18.5.2018, saatavissa: <http://www.yourarticlelibrary.com/industries/plant-layout/top-8-factors-influencing-industrial-plant-layout/34608/>

Harju A., Valpio J., Huhtala V., Kilpeläinen T. 1987. Teollisuustalous. Helsinki, Valtion painatuskeskus

Haverila M., Uusi-Rauva E., Kouri I., Miettinen A. Teollisuustalous, 6. painos, Hämeen Kirjapaino Oy, 2009, Tampere, ISBN: 978-951-96765-26-2

Hayes R., Wheelwright S. Link Manufacturing Process and Product Life Cycles, 1979, viitattu: 18.05.2018, saatavissa: <https://hbr.org/1979/01/link-manufacturing-process-and-product-life-cycles>

Hopp W., Spearman M. 2008, Factory Physics, kolmas painos, Waveland Press Inc. ISBN: 978-1-57766-739-1

Huhtala P., Pulkkinen A. Tuotettavuuden kehittäminen, Teknologiateollisuus ry, 2009, Tampere, ISBN: 978-952-238-002-9

Immer J. Layout Planning Techniques, New York: McGraw-Hill, 1950.

Järvenpää E., Lanz M. 2014, LeanMES: Tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus suomalaisissa valmistavan teollisuuden yrityksissä, Viitattu: 1.6.2018, Saatavissa: [https://wiki.tut.fi/pub/LeanMES/Reports/LeanMES\\_Tuotannonsuunnittelu\\_ja\\_ohjaus\\_suomalaisissa\\_yrityksiss\\_julkinen\\_FINAL.pdf](https://wiki.tut.fi/pub/LeanMES/Reports/LeanMES_Tuotannonsuunnittelu_ja_ohjaus_suomalaisissa_yrityksiss_julkinen_FINAL.pdf)

Liker J. Toyotan tapaan, 2006, 1. painos, Gummerus Kirjapaino Oy, ISBN: 952-5592-68-5

Lynch L.L. 2005, *The relationship of lean manufacturing 5S principles to quality, productivity, and cycle time*, Walden University.

Lödning H. 2013, Bottleneck Control, Handbook of Manufacturing Control, Springer, s. 347-363, Berlin, Heidelberg, ISBN: 978-3-642-24458-2

Karam A., Liviu M., Cristina V., Radu H. 2018, The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A SMED project, *Procedia Manufacturing*, Vol. 22, s. 886-892, viitattu: 1.11.2018, saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918304219>

Karjalainen E. 2013, Avain parannukseen ja innovaatioihin vaihtelua pienentämällä, viitattu 14.5.2018, saatavissa: <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/avain-parannukseen-ja-innovaatioihin-vaihtelua-pienentaemaellae/>

Kim S.H., Whitt W., Estimating waiting times with the time-varying Little's law, 2013, *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, Cambridge, vol 27, iss. 4, saatavissa: doi:<http://dx.doi.org.libproxy.tut.fi/10.1017/S0269964813000223>

Kjell B. Zandin: Maynard's Industrial Engineering Handbook, (McGraw-Hill Professional, 2001 1992 1971 1963 1956), AccessEngineering, saatavissa: <https://www.accessengineeringlibrary.com/browse/maynards-industrial-engineering-handbook-fifth-edition>

Kraut R., Fussel S., Brennan E., Siegel J. Understanding Effects of Proximity on Collaboration: Implications for Technologies to Support Remote Collaborative work, 2001, viitattu 18.5.2018, saatavilla: <http://www.psychology.sunysb.edu/sbrennan-/papers/kraut.pdf>

Mikati N. 2010, Dependence of lead time on batch size studied by a system dynamics model, *International Journal of Production Research*, Taylor & Francis, saatavissa: <https://doi.org/10.1080/00207540903164628>

Modig N., Ahlström P. Tätä on lean, Rheologica Publishing, 2018, Tukholma. ISBN: 978-91-980393-3-7

Muther R. 2015. *Systematic layout planning*. Repr. Boston, MA: Industrial Education Institute. Fourth edition. ISBN: 978-0-933684-06-5

Niskanen V. 2011, Toimintatutkimus, Helsingin yliopisto, viitattu 2.2.2018, saatavissa: <http://www.mv.helsinki.fi/home/niskanen/toiminta.htm>

Piirainen A. 2017. *Leviääkö Lean käsiin?* Viitattu: 7.6.2018. Saatavissa: <http://www.sixsigma.fi/fi/artikkelit/leviaako-lean-kasiin/>

Roser C., Lorentzen K., Deuse J. 2015, Reliable shop floor bottleneck detection for flow lines through process and inventory observations: the bottleneck walk. *Res.* 8:7. saatavissa: <https://doi-org.libproxy.tut.fi/10.1007/s12159-015-0127-2>

Schenk M., Wirth S., Müller E. *Factory Planning Manual*, 2010, Springer Heidelberg Dordrecht London New York, ISBN: 978-3-642-03634-7

Six Sigma, 2018, Kingmanin kaava, [www-sivut](http://www.sixsigma.fi/fi/lean/kingmanin-kaava/), viitattu 14.5.2018, saatavissa: <http://www.sixsigma.fi/fi/lean/kingmanin-kaava/>

Spear S., Bowen H.K. *Decoding the DNA of the Toyota Production System*, 1999, Harvard Business Review, sivut 97-99

Srinivasan, S., Ikuma, L.H., Shakouri, M., Nahmens, I. & Harvey, C. 2016, "5S impact on safety climate of manufacturing workers", *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 27, no. 3, pp. 364-378.

Tuominen K. *Tehoa ja laatua siisteyden ja järjestyksen kehitykseen – 5S*, 1. painos, WS Bookwell Oy Jyväskylä, 2010, ISBN: 978-952-220-308-3

Webber L., Wallace M. 2007. *Quality Control For Dummies®*, Wiley Publishing, ISBN: 978-0-470-06909-7

Womack, J. P., Jones, D. T. & Roos, D. 1990. *The machine that changed the world*. New York, NY: Rawson.



